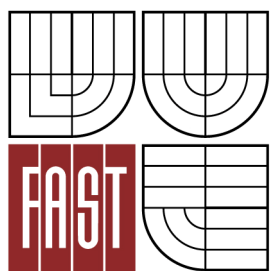




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

HODNOCENÍ KVALITY VODY V ÚPRAVNĚ PITNÉ VODY MOKOŠÍN

EVALUATION OF WATER QUALITY IN WATER TREATMENT PLANT MOKOŠÍN

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JAN VOSÁHLO

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RENATA BIELA, Ph.D.

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Jan Vosáhlo
Název	Hodnocení kvality vody v úpravně pitné vody Mokošín
Vedoucí diplomové práce	Ing. Renata Biela, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2011
Datum odevzdání diplomové práce	13. 1. 2012

V Brně dne 31. 3. 2011

.....
doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

POMYKAČOVÁ, Ivana, et al. Problematika arsenu v pitné vodě v České republice. In Sborník konference Pitná voda 2010. 1.vydání. České Budějovice : W+ET Team, 2010. s. 145-150. ISBN 978-80-254-6854-8

STRNADOVÁ, Nina., et al. Využití nanosorbentů na bázi MnO₂ pro odstraňování As z vod. In Sborník konference Pitná voda 2010. 1.vydání. České Budějovice : W+ET Team, 2010. s. 151-156. ISBN 978-80-254-6854-8

ILLAVSKÝ, J.; BARLOKOVÁ, D..Nové sorpčné materiály v odstraňování kovů z vody. In Sborník konference Pitná voda 2008. 1.vydání. České Budějovice : W+ET Team, 2008. s. 195-199. ISBN 978-80-254-2034-8

Další odborné články ze sborníků konferencí a seminářů

Získávání odborných informací na úpravě vody Mokošín a v jejím okolí

Zásady pro vypracování

V úvodní části diplomové práce bude proveden popis stávajícího stavu - zdroj úpravny vody Mokošín, kvalita vody ve zdroji, technologie úpravny vody. V praktické části diplomové práce bude provedeno zjištění možných zdrojů nežádoucích látek (arsen) ve vodě a sledování kvality vody ve zdroji a po úpravě za určité časové období. V závěru práce diplomant vyhodnotí odstranění prvků po úpravě, případně navrhne vhodnou doúpravu vody.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

Přílohy dle pokynů vedoucího diplomové práce

.....

Ing. Renata Biela, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Tématem této diplomové práce je „Hodnocení kvality vody v úpravně vody Mokošín“. Zdrojem vody pro úpravnu jsou 4 artézské studny. V práci je nejdříve popsána zásobovaná oblast a úpravna vody včetně jednotlivých technologií. V praktické části jsou podrobně popsány kontaminující prvky, které je třeba separovat na úpravně.

Jelikož se jedná o podzemní zdroje vody, je zde zvýšené množství železa a manganu. Zvýšená pozornost je dána arsenu, který se v posledních letech vyskytuje ve dvou zdrojích vody. Dále jsou zde nabídnuty možnosti odstraňování arsenu na úpravně vody a dva filtrační materiály odzkoušeny v laboratoři. Sledování kvality vody probíhalo vždy ve zdrojích a následně po úpravě v časovém období pěti let, v problematice s arsenem jsou hodnoty zaznamenány za deset let.

KLÍČOVÁ SLOVA

Úpravna vody, úprava vody, kvalita vody, pitná voda, arsen, mangan, železo

ABSTRACT

The theme of this thesis is "Evaluation of water quality in water treatment plant Mokošín". The source of water supply are 4 artesian wells. The paper first describes the supply area and water treatment plant with individual water treatment technologies. In the practical section there is the specification of contaminating elements required to be separated at the water treatment plant.

Since it is an underground source of water, there is an increased amount of iron and manganese. Increased attention is given to arsenic, which occurs in two water sources in recent years. There are also offered the possibilities of removing arsenic at water treatment plant and two filter materials tested in the laboratory. Monitoring of water quality takes place always in resources and after treatment in the time period of five years, the arsenic values are reported for ten years.

KEYWORDS

Water treatment plant, water treatment, water quality, drinking water, arsenic, manganem, iron

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VOSÁHLO, Jan. *Hodnocení kvality vody v úpravně vody Mokošín*. Brno, 2012. 108 s., 31 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Hodnocení kvality vody v úpravně vody Mokošín“ zpracoval samostatně, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne: 13.1.2011

.....

Bc. Jan Vosáhlo

PODĚKOVÁNÍ

Úvodem této diplomové práce bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Renatě Biele, Ph.D. za cenné rady a připomínky, Ing. Tomáši Kučerovi Ph.D. za spolupráci na praktické části a hlavnímu technologovi pitné vody Stanislavu Hamplovi z VaK Pardubice a.s. za poskytnuté potřebné informace k dané problematice.

OBSAH

1	ÚVOD	3
2	ÚPRAVNA VODY MOKOŠÍN	4
2.1	Zásobovaná oblast	4
2.1.1	Popis systému zásobování vodou	7
2.2	Zdroje pro úpravnu vody	9
2.3	Technologie úpravny vody Mokošín	13
2.3.1	Hygienické zabezpečení UV zářením	19
2.4	Bilance vody na ÚV Mokošín	24
3	KVALITATIVNÍ PARAMETRY NA ÚV MOKOŠÍN	26
3.1	Kvalita vody na ÚV mokošín	26
3.2	Arsen	29
3.2.1	Geneze, vlastnosti, použití	29
3.2.2	Výskyt ve vodách	30
3.2.3	Zdravotní rizika arsenu	31
3.2.4	Legislativní požadavky na obsah arsenu v pitné vodě a půdě	34
3.2.5	Zdroje arsenu na ÚV Mokošín	36
3.2.6	Naměřené hodnoty arsenu v okolí zdrojů pitné vody	43
3.2.7	Závěry z hydrogeologické studie	50
3.2.8	Úprava vody na ÚV Mokošín s ohledem na arsen	53
3.2.9	Technologie úpravy pitné vody k odstranění arsenu	54
3.3	Železo	61
3.3.1	Geneze železa	61
3.3.2	Výskyt železa ve vodách	61
3.3.3	Legislativní požadavky na obsah železa ve vodě	64
3.3.4	Význam železa ve vodě	65
3.3.5	Železo ve zdrojích vody pro ÚV Mokošín	66
3.3.6	Odstranění železa na ÚV Mokošín	68
3.3.7	Ostatní způsoby odstranění železa z vody	71
3.4	Mangan	73
3.4.1	Geneze	73
3.4.2	Výskyt manganu ve vodách	73
3.4.3	Legislativní požadavky na obsah manganu ve vodě	76
3.4.4	Význam manganu ve vodě	77
3.4.5	Mangan ve zdrojích vody pro ÚV Mokošín	77
3.4.6	Odstranění manganu na ÚV Mokošín	79

3.4.7	Ostatní způsoby odmanganování	82
4	EXPERIMENTÁLNÍ ODSTRANĚNÍ ARSENU	84
4.1	Účel experimentu	84
4.2	Postup měření	84
4.2.1	Stanovení experimentálních parametrů	84
4.2.2	Filtrace	86
4.2.3	Podmínky filtrace	88
4.3	Výsledky rozboru	89
4.4	Fotodokumentace k experimentu	91
5	ZÁVĚR	96
6	POUŽITÁ LITERATURA	97
	SEZNAM TABULEK	100
	SEZNAM OBRÁZKŮ	102
	SUMMARY	108

1 ÚVOD

Tématem diplomové práce je hodnocení úpravny vody Mokošín z hlediska kvality vody pro distribuci veřejného zásobování. Úpravna vody zásobuje zhruba 20 tis. obyvatel. Provoz byl zahájen v roce 1974. Název úpravny je totožný s její polohou - obec Mokošín. V práci jsou nejdříve shrnuté informace o úpravně vody, popsána její zásobovací oblast a systém zásobování. Zajímavostí úpravny je její technologie, zejména zařazení UV záření pro dezinfekci vody.

Z hlediska kvality je v diplomové práci brán největší ohled na parametry, které nesplňují dané limity při nátoky na úpravnu. Dané limity jsou posuzovány dle Vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody a Směrnice rady 98/83/ES O jakosti vody určené k lidské spotřebě. Jedná se o koncentraci arsenu, železa a manganu ze zdrojů vody pro úpravnu vody. Jelikož se jedná o zdroje z podzemní vody, železo a mangan je nedílnou součástí. Z vybraných prvků ve vodě je provedena analýza koncentrací ve zdrojích a následně po úpravě za určité období.

Největší část práce je věnována arsenu, nejdříve seznámení s prvkem a obecným výskytem ve vodách. Dále bude čtenář seznámen se zdravotními riziky při požívání vody s nadměrnou koncentrací arsenu. Původ arsenu v oblasti zdrojů vody pro úpravnu vody Mokošín není jednoznačný. Budou zde vytipovány možné zdroje arsenu z okolí, možnosti kontaminace podzemních vod ze souboru zkoumaných prvků a reliéfu podzemního terénu. Na závěru práce s arsenem jsou představeny materiály a systémy, které odstraňují arsen a na některých provedeno zkušební měření.

Železo a mangan jsou nejznámějšími prvky v podzemní vodě, které je nutno pro účel zásobování pitnou vodou odstranit.



Obr. 1.1 Úpravna vody Mokošín

2 ÚPRAVNA VODY MOKOŠÍN

Úpravna vody Mokošín zásobuje pitnou vodou cca 20 tis. obyvatel skupinového vodovodu Přelouč. Na úpravně vody Mokošín jsou ze surové vody odstraňovány pouze železité a manganité ionty na otevřených pískových filtrech. Provoz úpravy vody byl zahájen v roce 1974 a doposud nebyla provedena žádná rekonstrukce. Pouze doplnění o dezinfikaci bez chemikálií – UV zařízení. Jediná využívaná chemikálie je manganistan draselný, který je dávkován do rozdělovací nádrže před pískovými filtry.

Maximální výkon úpravy je 66 l.s^{-1} , současný výkon je cca $35 - 40 \text{ l.s}^{-1}$. Vyrobená voda je akumulována v centrálním zemním vodojemu Mokošín a následně gravitačně distribuována do rozvodné sítě, na které jsou umístěny následující zemní vodojemy – Lipoltice, Turkovice, Zdechovice, Řečany, Chvaletice 1, Chvaletice 2.

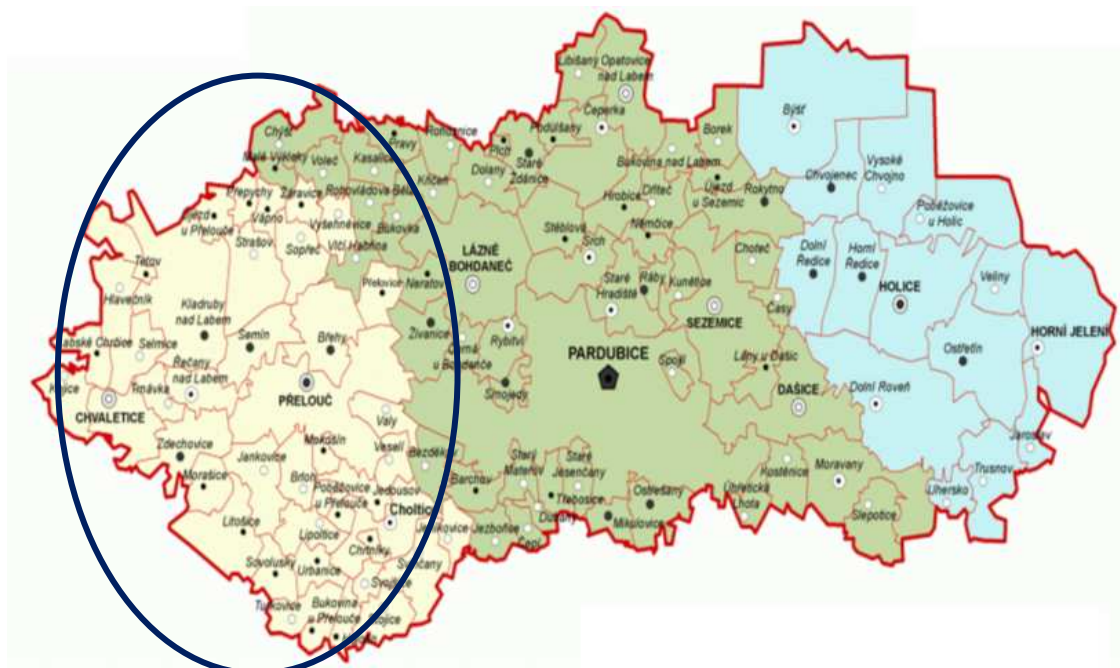


Obr. 2.1 Umístění ÚV Mokošín

2.1 ZÁSOBOVANÁ OBLAST

Zájmová oblast se nachází na západě Pardubického kraje. Skupinový vodovod Přelouč patří VaK Pardubice a.s, jedná se o vodovod Pardubického kraje. Přelouč je řazena do sekce zásobování pro Pardubicko, které se dělí na šest skupinových vodovodů - skupinový vodovod Pardubice, Holice, Přelouč, Vysoké Chvojno, Bukovka-Habřinka, Horní Jelení. Hlavním a zároveň největším městem tohoto regionu je Přelouč, další větší města jsou Chvaletice, Řečany nad Labem. V zájmové oblasti se nachází městys

Další obce zájmové oblasti (zásobované ze skupinového vodovodu Přelouč): Bukovina u Přelouče, Chrtníky, Hornická Čtvrť, Jankovice, Kozašice, Seník, Jeníkovice, Kojice, Tupesy, Klenovka, Štěpánov, Lhota, Škudly, Lohenice, Mělice, Řečany n. Labem, Labětín, Sovolusky, Stojice, Svojšice, Turkovice, Bumbálka, Rašovy, Urbanice, Valy, Veselí, Zdechovice, Spytovice, Zbraněves.



Obr. 2.2 Mapa zájmového území

Skupinový vodovod zásobuje zhruba 20 000 obyvatel. Z tabulky 2.1 je patrné, že se stále očekává nárůst obyvatel. Počet připojených obyvatel na městský vodovod také stále roste, což je dáno politikou životního prostředí, kde cílem je zvyšovat počet obyvatel připojených na vodovody pro veřejnou potřebu. Důvodem růstu obyvatel na Přeloučsku může být trend stěhování obyvatelstva z malých obcí do měst nebo naopak stěhování do menších měst s ekonomickým úmyslem levnějšího bydlení v okolí krajského města Pardubic. Největší nárůst do roku 2015 připojených obyvatel dle tabulky bude v obcích Seník a Škudli s 16,9 %. Naopak v obci Jeníkovice úbytek cca 3,2 %.

Tab. 2.1 Počet připojených obyvatel [1]

Obec	Počet obyvatel v roce 2000			Počet obyvatel v roce 2005			Počet obyvatel v roce 2015		
	celkem	připojených	%	celkem	připojených	%	celkem	připojených	%
Brloh	190	180	94,7	200	185	92,5	220	210	95,5
Břehy	850	840	98,8	900	890	98,9	1000	980	98
Bukovina u	70	60	85,7	78	68	87,2	110	95	86,4
Bumbálka	50	50	100	51	51	100	50	50	100
Hornická Čtvrť	130	120	92,3	165	160	97	318	318	100
Choltice	750	730	97,3	785	772	98,3	860	860	100
Chrtníky	85	75	88,2	88	80	90,9	100	95	95
Chvaletice	3000	3000	100	3275	3275	100	3900	3900	100
Jankovice	150	132	88	160	140	87,5	175	160	91,4
Jeníkovice	226	215	95,1	231	220	95,2	250	230	92
Klenovka	172	100	58,1	205	135	65,9	260	200	76,9
Kojice	400	400	100	410	410	100	455	455	100
Kozašice	80	80	100	85	85	100	100	100	100
Labětín	231	231	100	245	245	100	260	260	100
Lhota	138	60	43,5	147	68	46,3	190	90	47,4
Lohenice	205	170	82,9	221	188	85,1	277	255	92,1
Mělice	206	172	83,5	212	184	86,8	230	216	93,9
Přelouč	8186	8124	99,2	8693	8612	99,1	9886	9800	99,1
Rašovy	20	20	100	25	25	100	25	25	100
Řečany n.	1170	1161	99,2	1185	1181	99,7	1240	1240	100
Seník	58	40	69	59	49	83,1	60	60	100
Sovolusky	116	106	91,4	118	108	91,5	125	120	96
Spytovice	170	170	100	185	185	100	200	200	100
Stojice	161	161	100	229	229	100	240	240	100
Svojsice	191	180	94,2	195	189	96,9	200	200	100
Škudly	81	45	55,6	84	53	63,1	90	72	80
Štěpánov	114	86	75,4	121	95	78,5	140	118	84,3
Tupesy	55	20	36,4	80	51	63,8	155	100	64,5
Turkovice	188	182	96,8	214	211	98,6	250	250	100
Urbanice	68	68	100	67	67	100	60	60	100
Valy	418	412	98,6	454	451	99,3	550	550	100
Veselí	310	310	100	308	308	100	310	310	100
Zbraněves	4	0	0	7	0	0	10	0	0
Zdechovice	470	470	100	485	485	100	520	520	100
Suma	18713	18170		19967	19455		22816	22339	
Průměr			86			88,4			91



Obce s minimální zásobností



Obce s maximální zásobností

Tab. 2.2 Specifická potřeba vody [1]

Počet obyvatel v obci	Specifická potřeba vody pro domácnosti	
	min [l/os.den]	max [l/os.den]
do 150	60	100
150 – 500	60	120
500 – 2 000	80	140
nad 2 000	100	160

2.1.1 Popis systému zásobování vodou

Skupinový vodovod zásobuje 34 obcí. Na obr.2.3 je vidět, že se jedná o větevný systém (žlutá barva), zásobování pro město Přelouč je převážně zokruhováno. Délka vodovodních řadů je 185,31 km. Přívodní řady jsou dlouhé 84,9 km. V zájmové oblasti jsou 4 vodní zdroje. Jedná se o artézské studny se zvýšeným obsahem železa a manganu. V posledních letech se objevuje ve vrtech Jankovice a Brloh nežádoucí arsen. Ve vrtu Jankovice jsou dlouhodobě překročeny limity na množství arsenu ve vodě, než dovoluje vyhláška Ministerstva zdravotnictví č.252/2004 Sb. kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Dále je voda čerpána na úpravnu vody Mokošín, odkud je zásobována celá oblast. Skupinový vodovod Přelouč je propojen s vodovodem Pardubice v obci Luhy, propojení slouží především jako záložní nouzový zdroj a k doplnění vodojemů. Vzhledem k zachování kvality vody se kontinuálně čerpá, aby voda nestála v potrubí, ale čerpané množství je minimální. Automatická čerpací stanice Luhy DN 200 může čerpat až 40 l.s^{-1} . Řízení je z dispečinku Pardubice. Hydrostatický tlak v síti je 0,28-0,40 MPa. Zařízení pro tuto oblast zcela vyhovuje.



- hranice Pardubického kraje
- skupinový vodovod Přebouč
- skupinový vodovod Pardubice
- vodovod - návrh rekonstrukce
- úpravná vody Mokošín
- vodojemy

Obr. 2.3 Skupinový vodovod Přebouč [2]

Do skupinového vodovodu Přebouč patří 7 vodojemů, jedná se o šest zemních vodojemů a jeden aquaglobus. V současné době jsou v provozu pouze zemní vodojemy.

Výpis jednotlivých vodojemů, jejich akumulční prostory a výškové kóty dna a hladiny:

• Mokošín	2000 m ³	299,80 – 303,30 m n. m.
• Chvaletice 1	800 m ³	270,00 – 275,00 m n. m.
• Chvaletice 2	300 m ³	293,75 – 296,75 m n. m.
• Lipoltice	300 m ³	299,80 – 303,30 m n. m.
• Turokovice	250 m ³	340,00 – 343,00 m n. m.
• Řečany nad Labem	200 m ³	235,00 – 241,50 m n. m.
• Zdechovice	160 m ³	261,00 – 263,95 m n. m.



Obr. 2.4 Aquaglobus Řečany nad Labem

2.2 ZDROJE PRO ÚPRAVNU VODY

V zájmové oblasti se nachází 4 zdroje. Jedná se o artézské studny. Hloubka vrtů je cca 70 metrů. Všechny vrty se nacházejí v blízkosti podhůří Železných hor. Jejich přesná poloha je znázorněna na mapě Obr 2.5.



Obr. 2.5 Umístění vodovodních zdrojů

Výpis jednotlivých zdrojů a jejich kapacity:

- Jankovice Ja-6 33 l.s^{-1}
- Luhy CH-5 30 l.s^{-1}
- Brloh V-3 14 l.s^{-1}
- Luhy CH-4a 5 l.s^{-1}

Dále je možnost čerpat až 40 l.s^{-1} upravené vody ze skupinového vodovodu Pardubice. Voda je gravitačně dopravována z vodojemu v Mikulovicích do obce Luhy, kde se nachází ATS a odtud je čerpána přímo do vodojemu v Mokošíně.

Voda ze zdroje Brloh je přímo čerpána do Jankovic, kde je míchána s místním zdrojem a dále je čerpána na úpravnu vody potrubím z litiny DN 300. Proto jsou veškeré rozbory surové vody společné pro oba zdroje. Ze zdrojů Luhy je potrubí z PVC 225.

Kvalita vody přímo ze zdrojů je slovně i graficky znázorněna v kapitole č. 3.

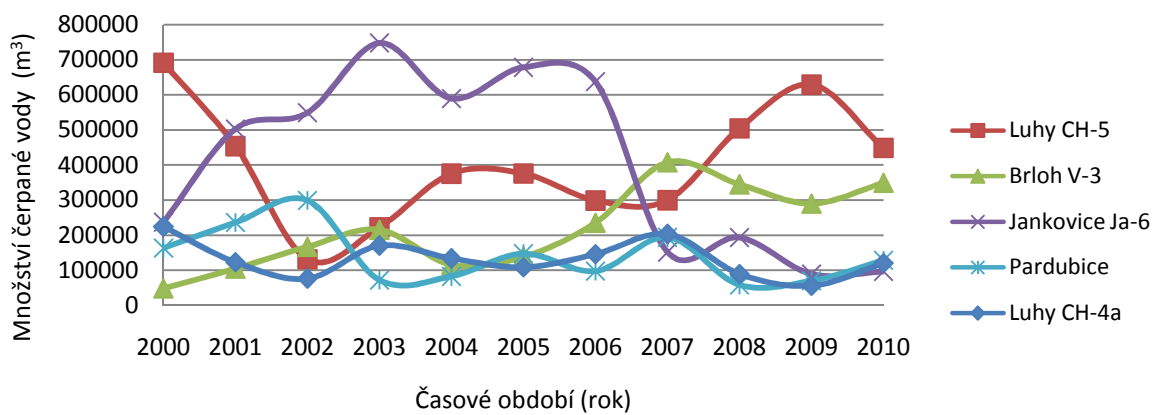
Vydatnost jednotlivých zdrojů pro úpravnu vody je zkoumána za posledních 10 let, tedy od roku 2000. Nelze jednoznačně určit hlavní zdroj, z grafu na obr. 2.6 je patrné, že zdroj Jankovice patřil od roku 2001 do 2006 k nejvíce vytíženým. V roce 2007 se jednalo o spíše vyrovnaný poměr čerpání jednotlivých zdrojů. Od roku 2008 – 2010 byl nejvíce vytížen zdroj Luhy CH5. Po zjištění vzrůstající koncentrace arsenu ve vodě ze zdroje v Jankovicích bylo požádáno na vodoprávním úřadě o možnost čerpání většího

množství vody ze zdroje Brloh, čímž dochází k ředění kontaminované vody arsenem. Voda ze zdroje Brloh obsahuje podstatně menší koncentrace arsenu. Čerpání ze zdroje Jankovice Ja-6 bylo omezeno.

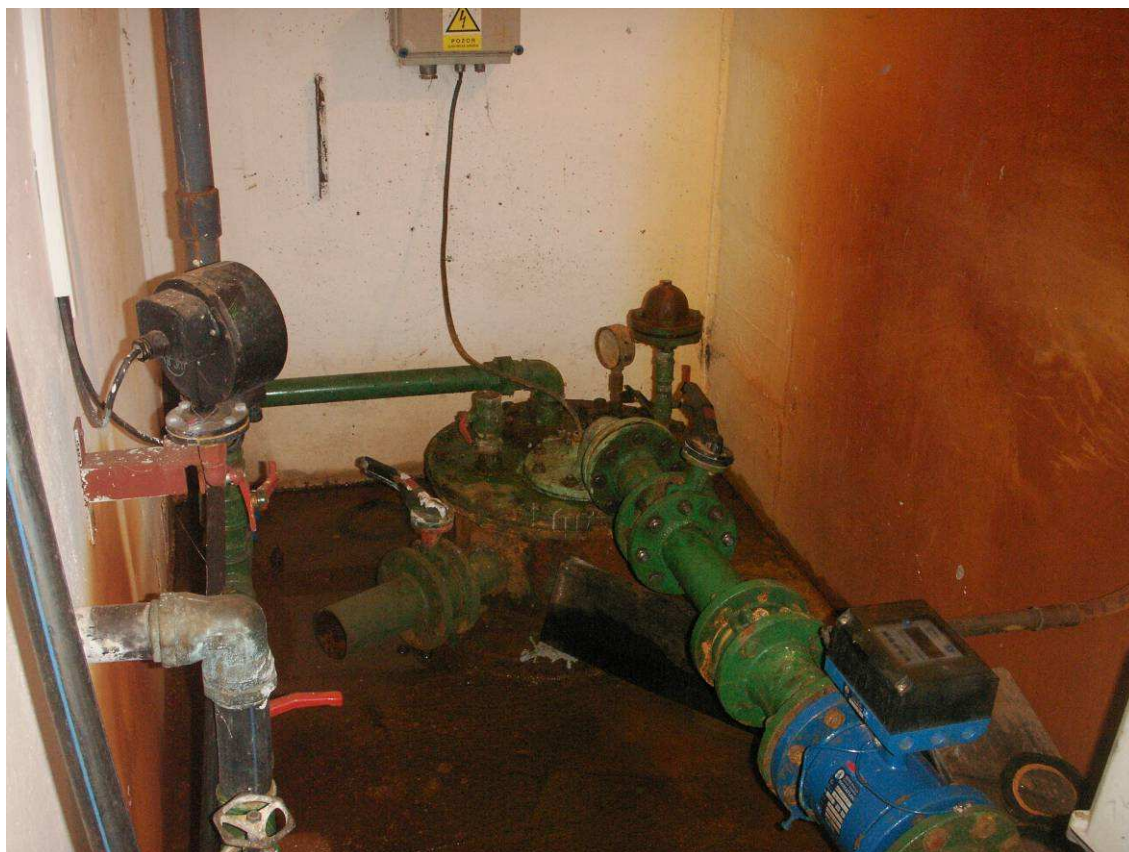
Tab. 2.3 Vydatnost zdrojů

Rok		Luhý CH-4 [m ³]	Luhý CH-5 [m ³]	Brloh V-3 [m ³]	Jankovice Ja-6 [m ³]	Pardubice [m ³]
2000	součet	223942	691088	48787	237130	163240
	průměr/měsíc	18662	57591	4066	19761	13603
2001	součet	123386	453985	105073	502541	236100
	průměr/měsíc	10282	37832	9552	41878	19675
2002	součet	76333	131697	167042	549076	299466
	průměr/měsíc	6361	10975	13920	45756	24956
2003	součet	170170	222360	215390	747740	72450
	průměr/měsíc	14181	18530	17949	62312	6038
2004	součet	133867	375541	115500	589430	82735
	průměr/měsíc	12170	34140	9625	49119	6895
2005	součet	108653	375619	139050	678180	147537
	průměr/měsíc	9054	31302	11588	56515	12295
2006	součet	146200	298900	235510	637400	97860
	průměr/měsíc	12183	24908	19626	53117	8155
2007	součet	203250	299850	407659	151940	193995
	průměr/měsíc	16938	24988	33972	12662	16166
2008	součet	89550	504250	344387	193780	58721
	průměr/měsíc	7463	42021	28699	16148	4893
2009	součet	56150	628760	289893	89370	70440
	průměr/měsíc	4679	52397	26354	8937	5870
2010	součet	120763	449059	349512	96830	128800
	průměr/měsíc	10978	37422	29126	8069	10733

Vydatnost zdrojů za 10 let



Obr. 2.6 Vydatnost zdrojů



Obr. 2.7 Vodovodní zdroj Luhy

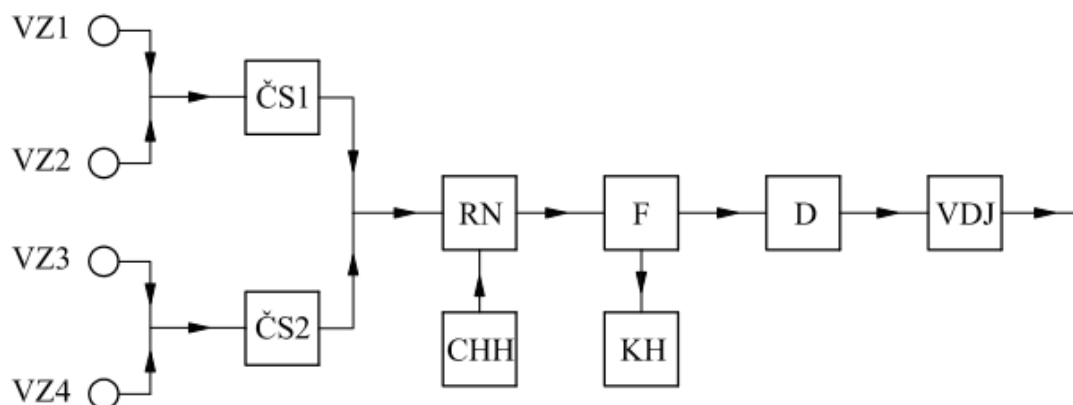


Obr. 2.8 Čerpací zařízení v Luhách

2.3 TECHNOLOGIE ÚPRAVNY VODY MOKOŠÍN

Jedná se o jednostupňovou úpravnu vody s otevřenými pískovými filtry. Voda ze zdrojů je čerpána do rozdělovací nádrže, zde je dávkován manganistan draselný. Dále je voda gravitačně dopravována na pískové filtry, kde je zbavena železitých a manganistých iontů. Hygienické zabezpečení se nachází až v budově zemního vodojemu hned vedle provozní budovy úpravy vody.

Zajímavostí této úpravy je prvenství v hygienické úpravě vody na této úrovni pomocí UV záření. Dříve to bylo použito pouze u firemních aplikací, např. Coca Cola. Původní hygienické zabezpečení plynným chlórem bylo umístěno v místě výroby vody na úpravě vody Mokošín a v koncových místech rozvodných řadů v lokalitách Zdechovice, Řečany a Turkovice, kde byla voda dochlorována chlornanem sodným.

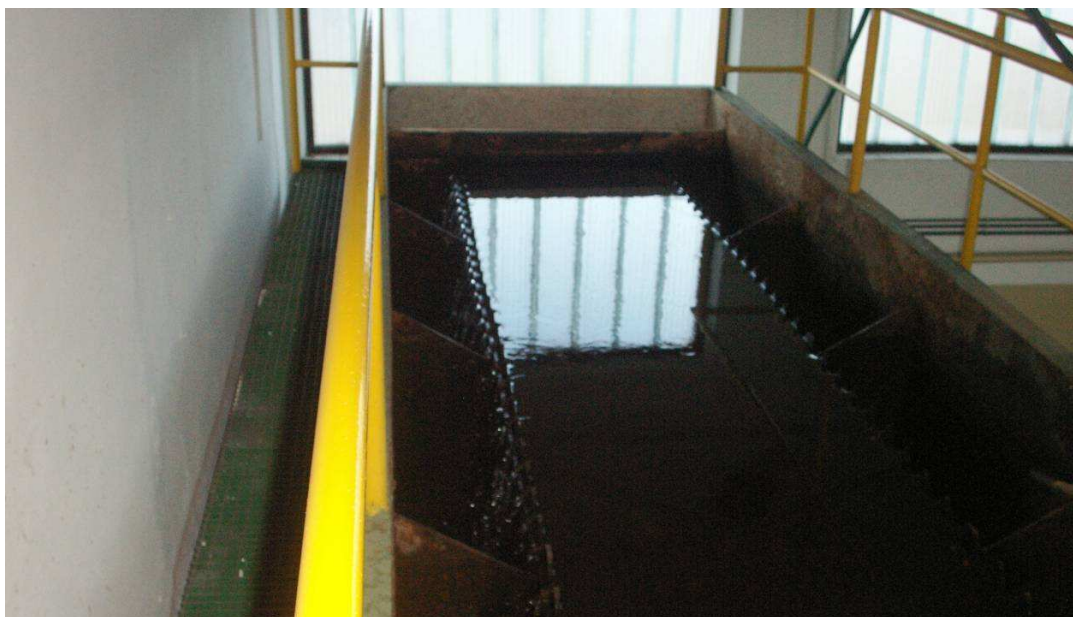


VZ - vodní zdroj, ČS - čerpací stanice, RN - rozdělovací nádrž, F1 - písková filtrace, D - desinfekce UV zářením, VDJ - vodojem, CHH - chemické hospodářství, KH - kalové hospodářství

Obr. 2.9 Blokové schéma ÚV Mokošín

Rozdělovací nádrž

Jedná se o plechovou nádrž o půdorysných rozměrech 6x2 m. V této nádrži se voda mísí ze všech zdrojů. Je zde dávkován do vody manganistan draselný, který slouží k odstranění železa a manganu ve vodě. Tyto prvky způsobují hnědé zabarvení vody. Aby ho bylo možné odstranit, je nutné převést formu rozpuštěnou na nerozpuštěnou pomocí oxidace a následně filtrovat na pískových filtrech. Voda z rozdělovací nádrže přepadá přes ostrohranné zubaté přelivné hrany, čímž dochází k provzdušnění. Na obrázku 2.10 je znázorněna rozdělovací nádrž v ÚV Mokošín.



Obr. 2.10 Rozdělovací nádrž

Chemické hospodářství

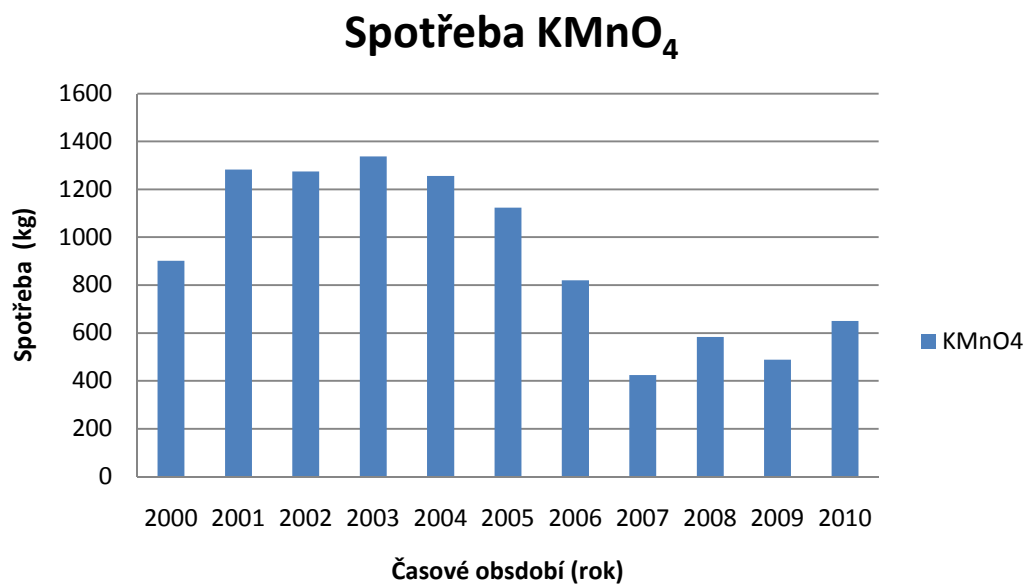
Jediná používaná chemikálie v této době na úpravě vody Mokošín je manganistan draselný KMnO_4 . Jeho hustota je $2,7 \text{ g.ml}^{-1}$ a rozpustnost $7,6 \text{ g/100 g}$ vody při 25°C . Jedná se o velmi silné oxidační činidlo, které oxiduje železo i mangan. Při jeho redukci v neutrálním prostředí vzniká nerozpustný oxid manganitý/manganičitý. Jelikož se jedná o jednostupňovou separaci, je manganistan draselný dávkován před separační filtry. Oxidační reakce probíhá i přímo ve filtrační náplni.

Do roku 2008 byla ještě v některých měsících používána chlorace pro dezinfekci vody.

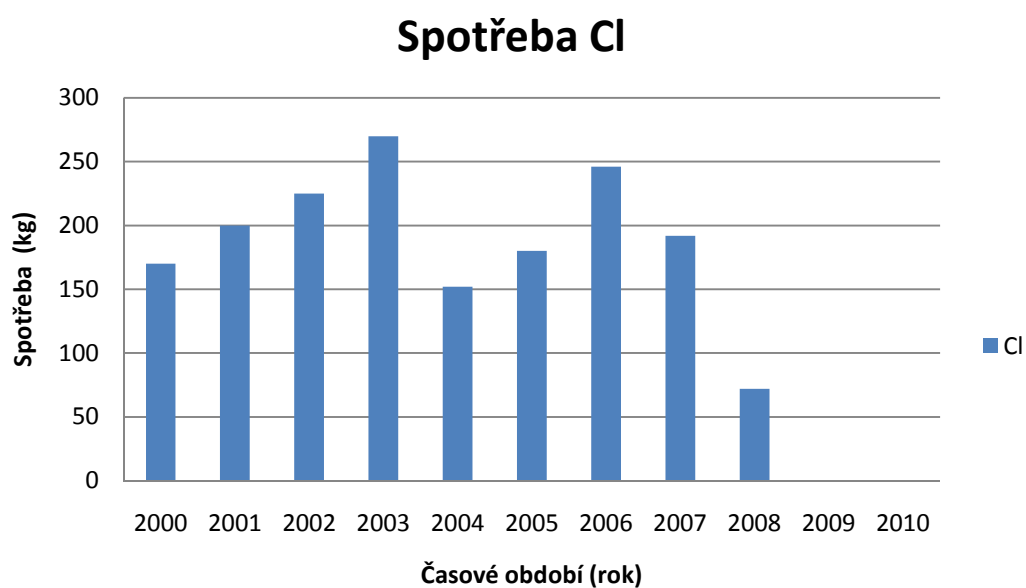
Spotřeby chemikálií jsou znázorněny v tabulkách a grafech na obr. 2.11 a obr. 2.12 od roku 2000 pro viditelnost poklesu chlóru při používání UV záření.

Tab. 2.4 Spotřeba chemikálií

Rok		KMnO4 [kg]	KMnO4 [mg.l ⁻¹]	Cl [kg]
2000	součet	901,50	9,06	170,00
	průměr/měsíc	75,13	0,76	28,33
2001	součet	1283,00	13,14	200,00
	průměr/měsíc	106,92	1,09	25,00
2002	součet	1275,00	16,54	225,00
	průměr/měsíc	106,25	1,38	25,00
2003	součet	1337,50	12,35	270,00
	průměr/měsíc	111,46	1,03	23,00
2004	součet	1255,80	13,32	152,00
	průměr/měsíc	104,65	1,11	12,67
2005	součet	1124,00	10,39	180,00
	průměr/měsíc	93,67	0,87	23,00
2006	součet	819,50	7,51	246,00
	průměr/měsíc	68,29	0,63	20,50
2007	součet	424,00	4,91	192,00
	průměr/měsíc	35,33	0,41	16,00
2008	součet	583,00	6,21	72,00
	průměr/měsíc	48,58	0,52	6,00
2009	součet	488,00	5,08	0,00
	průměr/měsíc	40,67	0,42	0,00
2010	součet	649,50	7,82	0,00
	průměr/měsíc	54,13	0,65	0,00



Obr. 2.11 Spotřeba manganistanu draselného



Obr. 2.12 Spotřeba chlóru



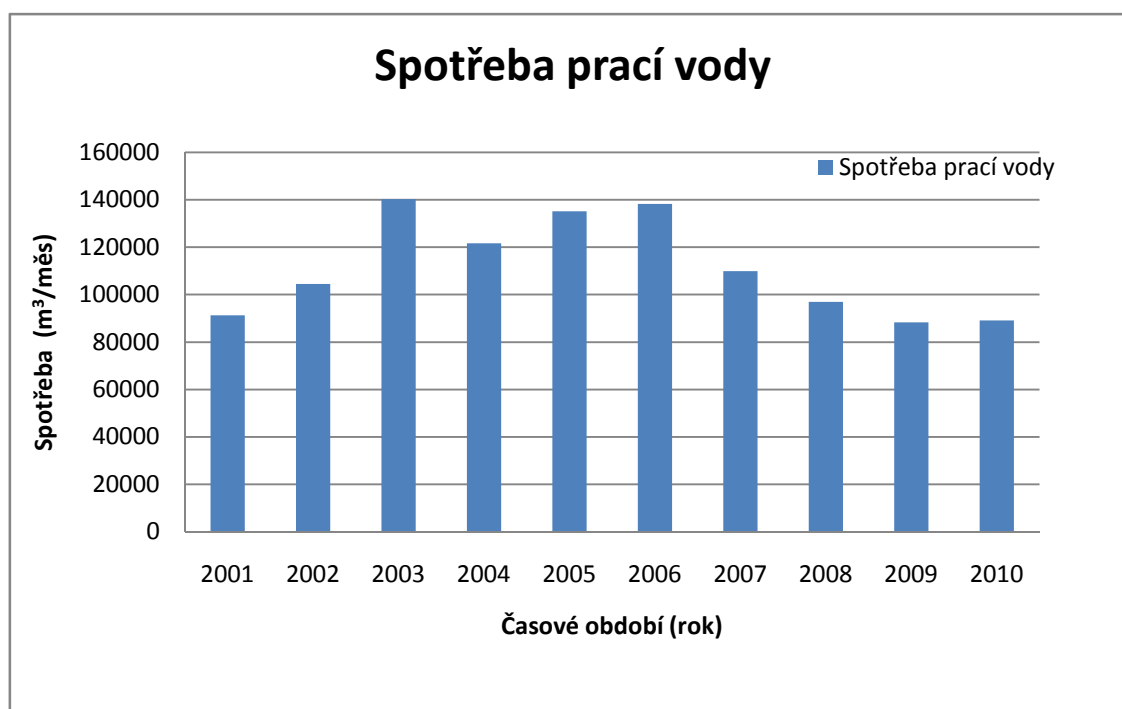
Obr. 2.13 Nádrže na suspenzi manganistanu draselného

Pískové otevřené filtry

Suspenze surové vody a manganistanu draselného je separována na pískových otevřených filtrech. Celkem jsou na úpravně čtyři, které jsou rozděleny na poloviny přelivnou hranou. Rozměr jednoho filtru je $12,2 \text{ m}^2$. Celková plocha všech filtrů je $48,8 \text{ m}^2$. Každý filtr má křemennou pískovou náplň FP2 o mocnosti 1,3 m. Prací proces je zde prováděn po 32 hodinách. Průměrná filtrační rychlost je 3 m.h^{-1} .

Tab. 2.5 Spotřeba prací vody

Rok		Prací voda [m ³ .měs ⁻¹]
2001	součet	91325
	průměr/měsíc	7610
2002	součet	104470
	průměr/měsíc	8706
2003	součet	140250
	průměr/měsíc	11688
2004	součet	121650
	průměr/měsíc	10138
2005	součet	135100
	průměr/měsíc	11258
2006	součet	138300
	průměr/měsíc	11525
2007	součet	109880
	průměr/měsíc	9157
2008	součet	97000
	průměr/měsíc	8083
2009	součet	88300
	průměr/měsíc	7358
2010	součet	89150
	průměr/měsíc	7429



Obr. 2.14 Spotřeba prací vody

Na povrchu filtru se tvoří preparační katalytická vrstva velmi rychle, která je homogenní a silná. Pokud by vypadla možnost dávkování manganistanu, filtrační náplň si ponechává po určitou dobu schopnost oxidovat a separovat mangan, aniž by do náplně bylo vpravováno jiné oxidační činidlo. A to po dobu výrazně větší než je zdržení vody ve filtrační náplni.



Obr. 2.15 Pískové filtry

2.3.1 Hygienické zabezpečení UV zářením

V květnu roku 1999 byl na úpravně vody Mokošín zahájen zkušební provoz hygienického zabezpečení pitné vody UV zářením. Vzhledem k tomu, že v té době platná ČSN 75 7111 Pitná voda umožňovala použití pouze chlóru, musel být pro tuto výjimku vydán souhlas Státního zdravotního ústavu – Centra hygieny životního prostředí, hlavního hygienika ČR a okresního hygienika Pardubice. Hlavním garantem celé akce byl okresní hygienik, který se znalostí problematiky vodovodu a na základě podkladů od výrobce UV zářiče vydal souhlasné stanovisko k zahájení zkušebního provozu.

Na základě provozních zkušeností získaných během zkušebního provozu byl v červenci roku 2000 uveden UV zářič do trvalého provozu. Okresní hygienik vydal závazný posudek k trvalému provozu UV zářiče, a na základě jeho připomínek byl zpracován dodatek provozního řádu skupinového vodovodu Přelouč. V tomto dodatku jsou uvedeny podmínky, za kterých je možno provozovat zabezpečení pitné vody UV zářením [3]:

- Vodovodní síť bude preventivně jednou za 6 týdnů dezinfikována chlorem tak, aby jeho přítomnost byla zaznamenána i v nejvzdálenějších místech skupinového vodovodu.
- Preventivní odkalování vodovodní sítě bude prováděno v souladu se schváleným odkalovacím plánem, mimořádné odkalování bude prováděno v případě nevyhovujících rozborů a po odstranění poruch na vodovodních řádech a přípojkách.
- Po opravách vodovodní sítě bude provedeno nejen odkalení, ale i preventivní jednorázová dezinfekce vody chlorem.
- Jedenkrát měsíčně budou prováděny bakteriologické rozborů vody ve vodojemech. V případě zjištění závazného bakteriologického rozboru bude příslušná lokalita dezinfikována chlorem do doby nezávadného rozboru.
- Při odběrech vzorků bude kontrolován stavební stav vodojemů a to zejména stav odvětrání vodojemů (s důrazem na neporušenost ochranných sítěk apod.) a vodotěsnost stropů vodojemů, aby nemohlo docházet ke kontaminaci prosakující srážkovou vodou, případné zjištěné závady budou neprodleně odstraněny.
- Při pravidelném čištění vodojemů budou dezinfikovány stěny a dna dezinfekčními prostředky (vzhledem k uzavřeným prostorům a nebezpečnosti plynného chloru jsou používány prostředky na bázi peroxidu vodíku – CARELA BIO PLUS, CARELA BIO DES).
- Při čištění vodojemů bude při vstupu do komor používána obuv z vnějšku dezinfikovaná chlornanem sodným.



Obr. 2.16 Dezinfekce UV zářením

Zkušenosti po 11 letech užívání UV záření

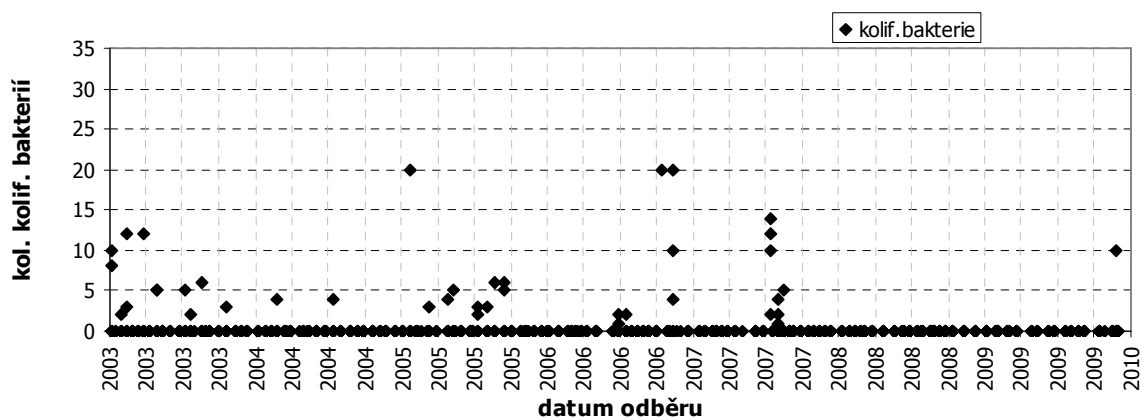
Nyní je 11 let v plném provozu hygienické zabezpečení UV zářením. Pro hodnocení kvality v parametrech bakteriologického rozboru jsou použity hodnoty koliformních bakterií. Tento ukazatel nejlépe indikuje vzniklé problémy ve vodojemech a ve spotřebišti. Výskyt dalších bakteriologických ukazatelů byl zanedbatelný, což je zajímavé u kultivovatelných bakterií při 36 a 22°C.[3]

Tab. 2.6 KTJ koliformní bakterie ve vodojemech [3]

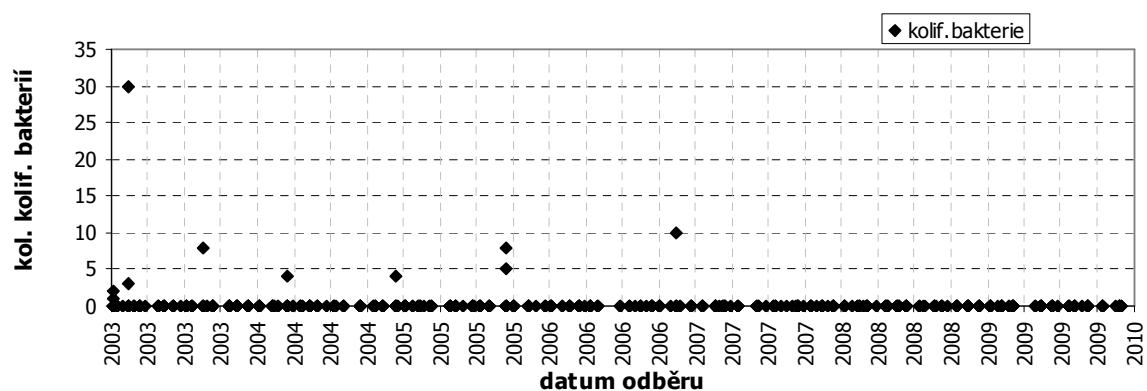
Rok	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Závadné vzorky [%]	9,8	1,3	8,9	6,1	7,5	0	1
Počet vzorků	122	77	112	115	107	114	102
Chlorování [dny]	90	90	80	60	70	40	60

Tab. 2.7 KTJ koliformní bakterie ve spotřebišti [3]

Rok	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Závadné vzorky [%]	4	1,9	2	2,4	0	0	0
Počet vzorků	123	103	94	84	88	96	106

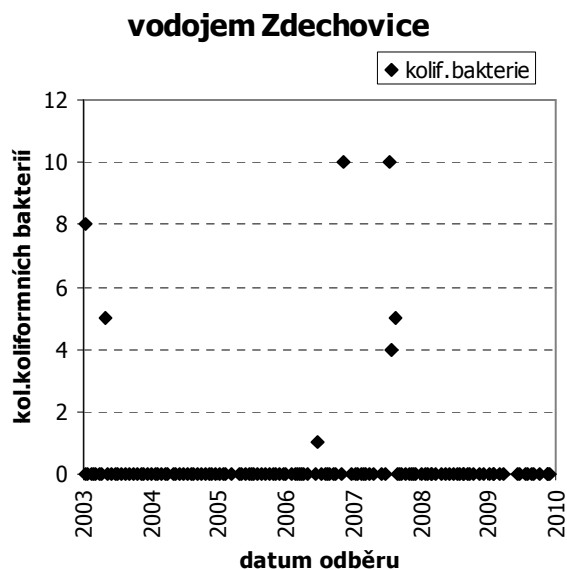


Obr. 2.17 Hodnocení všech vodojemů v oblasti [3]

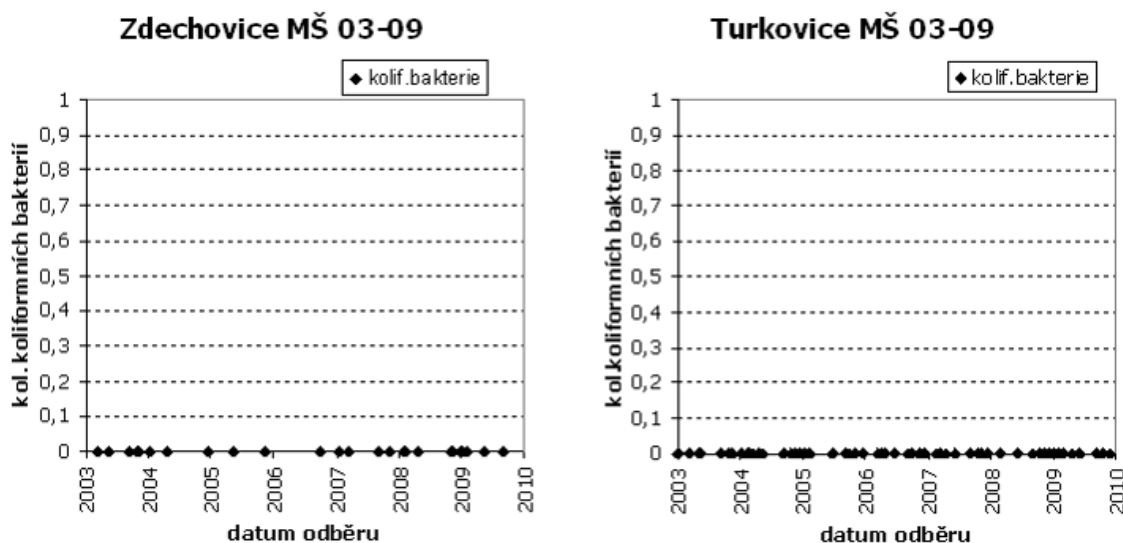


Obr. 2.18 Hodnocení ve spotřebišti [3]

Vybraná jednotlivá místa pro hodnocení KTJ koliformních bakterií:



Obr. 2.19 Kolif. bakterie ve vodojemu Zdechovice [3]



Obr. 2.20 Kolif. bakterie ve spotřebišti [3]

Na základě bakteriologických rozborů lze konstatovat, že při použití hygienického zabezpečení pomocí UV záření dodávaná pitná voda dosahuje minimálně stejného stupně bakteriologického zabezpečení jako v případě použití chloru. Zvýšené pořizovací a provozní náklady UV zářiče (0,12 Kč/m³) jsou z pohledu zvýšené kvality dodávané pitné vody přijatelné. Použitý typ UV zářiče je spolehlivý a vyžaduje minimální nároky na obsluhu a údržbu. Některé lampy vydržely téměř dvounásobek udávané životnosti. V neposlední řadě je důležitý pozitivní ohlas u spotřebitelů, kteří zavedení UV záření též hodnotí kladně. Jejich hodnocení se promítlo v požadavcích dalších odběratelů

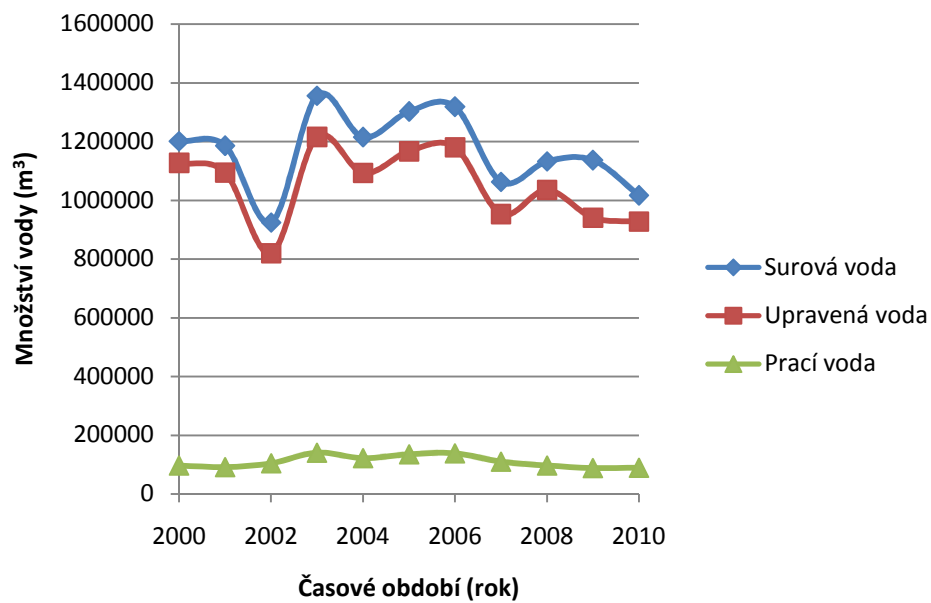
v regionu na zavedení tohoto způsobu zdravotního zabezpečení (např. Nemocnice Pardubice, vodovod Ostřetín).

2.4 BILANCE VODY NA ÚV MOKOŠÍN

Úpravna vody zásobuje zhruba 20 tis. obyvatel. Čtyři podzemní zdroje úpravny jsou doplňovány již upravenou vodou z Pardubic do centrálního vodojemu v Mokošíně. Veškeré průtoky a množství vody pro bilanci úpravny jsou brány z průměrných měsíčních hodnot v každém roku samostatně v období 2000 - 2010. Měsíční množství surové vody je počítáno jako součet množství čerpané vody z jednotlivých podzemních zdrojů pro úpravnu vody. Množství upravené vody je měřeno na průtokoměru u UV lampy (vodojem Mokošín).

Tab. 2.8 Bilance vody na ÚV Mokošín

Rok		sur. voda [m ³ .24 h ⁻¹]	sur.voda [m ³ .měs ⁻¹]	upr.voda [m ³ .měs ⁻¹]	prací voda [m ³ .měs ⁻¹]
2000	součet		1200947	1127272	96851
	průměr/měsíc	3295	101867	93939	8070
2001	součet		1184985	1093660	91325
	průměr/měsíc	3250	98749	91138	7610
2002	součet		924148	819678	104470
	průměr/měsíc	2530	77012	68307	8706
2003	součet		1355660	1215410	140250
	průměr/měsíc	3351	112972	101284	11688
2004	součet		1214338	1092688	121650
	průměr/měsíc	3329	101195	91057	10138
2005	součet		1301502	1166402	135100
	průměr/měsíc	3564	108459	97200	11258
2006	součet		1318010	1179710	138300
	průměr/měsíc	3616	109834	98309	11525
2007	součet		1062699	952819	109880
	průměr/měsíc	2908	88558	79402	9157
2008	součet		1131967	1034967	97000
	průměr/měsíc	3090	94331	86247	8083
2009	součet		1136085	940501	88300
	průměr/měsíc	3112	94674	78375	7358
2010	součet		1016164	927014	89150
	průměr/měsíc	2779	84680	77251	7429



Obr. 2.21 Bilance vody na ÚV Mokošín

3 KVALITATIVNÍ PARAMETRY NA ÚV MOKOŠÍN

Kvalita vody pro spotřebitele je nezanedbatelný pojem na celém světě. Požadavky na sledované parametry jsou různé dle státních vyhlášek. Obecně je známo, že nejméně kvalitní vodu, ale i požadavky na pitnou vodu mají státy rozvíjející se Afriky. Mezi nejdiskutovanější problém ohledně kvality vody patří pitná voda. Jedná se o vodu z libovolného přírodního zdroje, která vyhovuje zdravotnickým i technickým požadavkům a která je využívána člověkem.

Pitná voda musí mít takové fyzikálně-chemické vlastnosti, které nepředstavují ohrožení veřejného zdraví. Pitná a teplá voda nesmí obsahovat mikroorganismy, parazity a látky jakéhokoli druhu v počtu, nebo koncentraci, které by mohly ohrozit veřejné zdraví.

Kvalita vody se posuzuje dle chemických, fyzikálních, biologických a mikrobiologických vlastností. Tyto vlastnosti se zjišťují převážně laboratorními zkouškami. V diplomové práci je sledována kvalita vody před úpravou a po úpravě v období roků 2006 – 2010, tedy posledních 5 let, u zkoumání arsenu byly použity hodnoty od roku 2000. Dále byly vybrány parametry, které se zásadněji mění před úpravou a po úpravě. Jedná se o železo a mangan. Získané hodnoty sledovaných parametrů byly měřeny zhruba 14x za rok. Ne vždy byl proveden kompletní rozbor vody. Některé parametry jsou zjišťovány přímo na úpravě, jiné zpracovává speciální laboratoř. Jelikož diplomová práce sleduje parametry v období posledních 5 let, je brán ohled pouze na platnou Vyhlášku o kvalitě pitné vody 252/2004 Sb., evropské usnesení 98/83/ES, které bylo přijato vstupem do evropské unie.

Vyhlášky o kvalitě pitné vody platné v ČR:

- Ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb. kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody
- Směrnice rady 98/83/ES O jakosti vody určené k lidské spotřebě

3.1 KVALITA VODY NA ÚV MOKOŠÍN

Chemické parametry

Mezi chemické ukazatele kvality vody patří pH, obsah chemických prvků v rozpuštěné i nerozpuštěné formě.

V posledních letech se v surové vodě objevuje zvýšený obsah arsenu, manganu a železa. Tyto prvky jsou podrobněji rozebrány v této kapitole.

Fyzikální parametry

Do sledovaných fyzikálních vlastností vody patří teplota, pach, barva, zákal, chuť. Mimo teploty se jedná o organoleptické vlastnosti.

Biologické a mikrobiologické parametry

Biologický rozbor může přinést spolehlivý obraz o kvalitě vody. Podmínkou pro rozvoj biologického oživení ve vodě je dostatek substrátu (organické hmoty) a kyslíku. Rozbory se provádějí rovněž na výstupu z úpravny vody, lze odhalit provozní nebo technologické závady úpravárenského procesu nebo i ohrožení kvality vody. Z mikrobiologických vlastností vody se sleduje obsah koliformních bakterií, fekálních koliformních bakterií, enterokoků, mezofilních a psychofilních bakterií. Mnohé z těchto organismů indikují fekální znečištění vody. Jelikož výstupy z rozborů surové vody poukazují na nulové hodnoty těchto parametrů, nejsou součástí této práce.

V tabulce 3.1 jsou znázorněny vybrané mikrobiologické a biologické ukazatelé, v tabulce 3.2 fyzikální, chemické a organoleptické ukazatelé pitné vody a jejich hygienické limity dle Vyhlášky ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb. kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Byly vybrány pouze dostupné ukazatelé z úpravny vody Mokošín a týkající se ukazatelé pro pitnou vodu z vodovodu. V tabulkách je srovnání surové vody, upravené vody a hygienického limitu. Při zásadních změnách hodnot ukazatelů před a po úpravě je těmto ukazatelům věnována samostatná kapitola (arsen, železo, mangan). V tabulce pro surovou a upravenou vodu jsou použity průměry hodnot ze všech laboratorních zkoušek od roku 2006 – 2010.

Tab. 3.1 Vybrané mikrobiologické a biologické ukazatele

č.	Ukazatel	jednotka	limit	typ limitu	surová voda	upravená voda
2	enterokoky	KTJ/100 ml	0	NMH	0	0
3	Escherichia coli	KTJ/100 ml	0	NMH	0	0
4	koliformní bakterie	KTJ/100 ml	0	MH	0,4	0
5	mikroskop. obraz - abioseston	%	10	MH	1,77	0,23
8	počty kolonií při 22 °C	KTJ/ml	200	MH	1,28	1,06
9	počty kolonií při 36 °C	KTJ/ml	20	MH	4,44	1,33

Tab. 3.2 Vybrané fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele

č	ukazatel	symbol	jednotka	limit	typ limitu	surová voda	upravená voda	pozn.
13	amonné ionty	NH_4^+	mg/l	0,5	MH	0,46	0,11	
15	arsen	As	mikrog/l	10	NMH	11	1,24	1
16	barva		mg/l Pt	20	MH	2,63	2,03	
23	dusičnany	NO_3	mg/l	50	NMH	0,38	3,04	2
24	dusitany	NO_2	mg/l	0,5	NMH	0,01	0,03	2
28	hořčík	Mg	mg/l	10 20-30	MH DH	21,92	18,9	3
29	chemická spotřeba kyslíku (Mn)	CHSK-Mn	mg/l	3	MH	0,34	0,43	
32	chloridy	Cl-	mg/l	100	MH	19,7	20,19	
35	chuť			přijatelná	MH	-	přijatelná	
39	mangan	Mn	mg/l	0,05	MH	0,1	0,01	
45	pach			přijatelný	MH	-	přijatelný	
48	pH	pH		6,5-9,5	MH	6,99	7,1	
52	sírany	SO_4^{2-}	mg/l	250	MH	97,73	101,1	
59	vápník	Ca	mg/l	30 40-80	MH DH	126,66	121,56	3
60	vápník a hořčík	Ca + Mg	mmol/l	2-3,5	DH	4,07	3,8	
61	zákal		ZF (t,n)	5	MH	4,35	0,3	
62	železo	Fe	mg/l	0,2	MH	1	0,03	

Pozn. 1 – Arsen se nachází pouze ve dvou zdrojích, ostatní zdroje snižují jeho koncentraci v surové vodě (viz kapitola Arsen).

2 – Musí být dodržena podmínka, aby součet poměrů zjištěného obsahu dusičnanů v mg/l děleného 50 a zjištěného obsahu dusitanů děleného 3 byl menší nebo rovný 1. Součet poměrů odpovídá svým významem nejvyšší mezní hodnotě. Obsah dusitanů v pitné vodě na výstupu z úpravy vody musí být nižší než 0,1 mg/l.

3 – Nejnižší mezní hodnota stanovovaného ukazatele.

Z tabulek je patrné, že již surová voda ve většině limitů splňuje mezní hodnoty pro pitnou vodu. Není tedy třeba se věnovat látkám, které se neodstraňují nebo nepřidávají. Při zpracování těchto údajů byly vynechány výsledky nepřesného měření, kde se rozbor jednou za rok vychýlil od jeho obvyklé hodnoty.

3.2 ARSEN

3.2.1 Geneze, vlastnosti, použití

Arsen je všeobecně rozšířený prvek, který se v prostředí vyskytuje v organické i anorganické formě. Jedná se o toxický polokov ve čtyřech alotropických modifikacích: žlutá, hnědá, černá a šedá. Z chemického hlediska se velice podobá fosforu. Může ho i nahrazovat v některých biochemických reakcích. Pokud se nachází ve sloučeninách, je stálý v oxidačních stavech III-, III+ a V+. V přírodě se vyskytuje zejména ve formě sulfidů (arsenopyrit FeAsS , realgar As_4S_4 , auripigment As_2S_3) a je častou součástí různých hornin a půd. V horninách se vyskytuje jako příměs v rudách niklu, kobaltu, antimonu, stříbra, zlata a železa a bývá obsažen jako stopová příměs v mnoha ložiscích uhlí. Anorganický arsen se nejčastěji do vody dostává vymýváním a zvětváváním z hornin, z odpadních vod a atmosférickou depozicí. Je velice často běžnou součástí podzemních i povrchových vod. V povrchové vodě má značnou schopnost se kumulovat v říčních sedimentech. Adsorpce a zpětné uvolňování arsenu ze sedimentů do kapalné fáze může být v některých případech určujícím faktorem jeho koncentrace v této fázi.

Arsen je značně jedovatý a dlouhodobé požívání vod i s malými koncentracemi způsobuje chronická onemocnění. Jeho toxicita závisí do značné míry na oxidačním stupni. Sloučeniny As^{III} jsou asi pětikrát až dvacetkrát toxičtější než sloučeniny As^{V} . Byly prokázány jeho karcinogenní účinky, viz kapitola 3.2.3 Zdravotní rizika arsenu.

Nejvýznamnější antropogenní zdroje arsenu:

- hutní a rudní průmysl,
- koželužny,
- aplikace některých insekticidů a herbicidů,
- spalování fosilních paliv,
- prostředky na konzervaci dřeva,
- výluhy z elektrárenských popílků,
- metalurgický průmysl.

Použití Arsenu

V dnešní době má použití arsenu klesající trend. Více jak 90 % veškerého použití As se spotřebovává na výrobu přípravků na konzervaci dřeva proti houbám, barviv, léků, mýdel. V zemědělství na výrobu pesticidů, například různé herbicidy či insekticidy, které se používají k ochraně tabáku, bavlny, ovoce a zeleniny. Arsenitany a arseničnany

se dříve používaly ve veterinářství k zmírnění příznaků otravy dobytka selenem. Další využití je možné do slitin olova, které se používají do akumulátorů. Dále při výrobě polovodičů GaAs a InAs. Ve sklářském průmyslu se používá oxid arsenitý.

3.2.2 Výskyt ve vodách

Arsen se vyskytuje v okysličených i neokysličených vodách v oxidačním čísle III a V. Pokud je voda dostatečně okysličená, bývá převážně v pětimocné formě. V podzemní vodě za anaerobních podmínek dochází k redukci na třímocnou formu. Bývá také organicky vázán.

Oxidace As^{III} na As^{V} probíhá chemickou i biochemickou cestou. Pro rychlou a účinnou reakci se používá chlorace, v případě použití chloraminů se však reakce zpomaluje. Oxidace kyslíkem rozpuštěným ve vodě probíhá pomalu, pro zrychlení lze katalyzovat sloučeninami mědi.

Redukce As^{V} na As^{III} lze dokázat poměrně snadno přidáním síranu železnatého nebo přidávkem sulfidů. Tato reakce je velice častá v hypolimniu nádrží a jezer. Velmi pomalá je redukce kyslíkem rozpuštěným ve vodě v anoxických podmínkách. Proto dosažení rovnovážného stavu trvá ve stojatých vodách poměrně dlouho, a As^{III} lze prokázat i v oxických podmínkách epilimnia a As^{V} naopak i v anoxických podmínkách hypolimnia. V závislosti na složení vody se doba oxidace nebo redukce pohybuje v desítkách dní.

Obvyklé koncentrace arsenu v podzemních i povrchových vodách jsou v jednotkách až desítkách mikrogramů na litr. Za přirozenou hodnotu koncentrace arsenu v podzemních vodách se považuje $5 \mu\text{g.l}^{-1}$. Minerální vody karlovarských pramenů obsahují průměrně asi $150 \mu\text{g.l}^{-1}$ arsenu. Pramen Glauber III ve Františkových Lázních obsahuje asi $800 \mu\text{g.l}^{-1}$, jedná se o tzv. arsenové minerální vody. V mořské vodě se koncentrace arsenu pohybuje obvykle v rozmezí asi od $1 \mu\text{g.l}^{-1}$ do $9 \mu\text{g.l}^{-1}$. V odpadních vodách z velkoprádelen je arsen obsažen v koncentracích dosahujících až $100 \mu\text{g.l}^{-1}$. Mimořádně vysoké koncentrace lze nalézt v důlních vodách v okolí nalezišť arsenových rud (i přes $1000 \mu\text{g.l}^{-1}$). Průměrná koncentrace arsenu v pitných vodách ČR se pohybuje okolo $2 \mu\text{g.l}^{-1}$.

Vzhledem k rozdílným oxidačně-redukčním podmínkám dochází ve vodách hlubších nádrží a jezer k vertikální stratifikaci As^{III} a As^{V} . Na distribuci arsenu se může v létě do značné míry podílet i biologická redukce fytoplanktonem v epilimniu, ve kterém pak převažuje As^{III} . Kromě toho se může As^{III} oxidovat nejenom rozpuštěným kyslíkem, ale také působením oxidů manganu. Redukce As^{V} v bezkyslíkatém hypolimniu probíhá jen zvolna, avšak je urychlována přítomností sulfidů a Fe^{II} . Byl prokázán také vznik methylderivátů, kyseliny dimethylarsinové a methylarsonové. Například z celkové

koncentrace arsenu v 10 kalifornských jezerech připadalo na uvedené methylderiváty průměrně asi 17 % (rozmezí 0 % až 59 %). [5]

Vertikální stratifikace arsenu v eutrofizovaných jezerech a nádržích v období letních měsíců lze znázornit [5]:

- Epilimnion (oxické podmínky): postupná oxidace na As^{V} , vznik methylderivátů (především kyseliny dimethylarsinové a methylarsonové) biologickou činností fytoplanktonu, adsorpce na hydratovaných oxidech Fe a Mn.
- Hypolimnion (anoxické podmínky): postupná redukce na As^{III} , desorpce As z hydratovaných oxidů Fe a Mn, uvolňování As při destrukci biomasy.
- Sedimenty (anaerobní podmínky): další redukce na As^{III} , srážení As jako málo rozpustné sulfidy, koprecipitace s FeS, vlivem mikrobiální činnosti vznik organických methylderivátů, které přecházejí zpět do hypolimnia.

3.2.3 Zdravotní rizika arsenu

V běžném okolním životním prostředí se všichni setkáváme s určitou nízkou hladinou koncentrace arsenu. Vyšší dávky mohou organismus poškodit. Arsen je značně jedovatý a dlouhodobé používání vod s malými koncentracemi As způsobuje chronické onemocnění. Arsen je dokumentovaný humánní karcinogen, způsobuje rakovinu kůže, plic a zvyšuje pravděpodobnost nádorů jater, ledvin a močového měchýře. V lidském těle se akumuluje pomalu, největší procento je v nehtech, vlasech a kůži. Typické symptomy se projevují po 5 až 10 letech používání vody se zvýšenou koncentrací arsenu.

Hlavními zdroji dietární expozice arsenu jsou mořské produkty a maso (cca 70 % z celkově přijatého arsenu). Jedná se o organicky vázaný arsen, který není pro člověka nijak zvlášť nebezpečný, jelikož po požití je rychle a téměř beze změn vyloučen močí. Rozpuštěný arsen v anorganické formě je podstatně nebezpečnější. Denní příjem z pitné vody obecně nedosahuje 10 μg , ale odpovídá to zhruba 29 % z celkově přijatého arsenu. V anorganické formě se po požití rychle vstřebává, v játrech dochází k detoxikaci s poločasem asi 4 dnů, kde jako první krok nastává metylace a vznikají kyseliny mono- a dimethylarseničná, které jsou ještě více toxičtější než sám anorganický arsen, jedná se tedy o určitou aktivaci toxické formy. Zhruba 1 % člověk přijímá ze vzduchu. Stupeň absorpce arsenu u člověka při dermálním kontaktu není přesně známý, avšak experimentální studie potvrzují nízkou absorpci arsenu přes kůži při mytí a zevní vazbu arsenu ve vlasech i kůži. [6]

Anorganický arsen je toxičtější v trojmocné formě nežli pětímocné. Z časového hlediska působení je možné zdravotní účinky arsenu při orálním požití rozdělit na akutní a chronické.

Akutní účinky: akutní otrava arsenem končící smrtí nastává při příjmu pitné vody a obsahem arsenu $60\,000\text{ ppb As.l}^{-1}$ ($1\text{ ppb} = 1\text{ mg.m}^{-3}$). Příjem pitné vody s obsahem $300 - 30\,000\text{ ppb As.l}^{-1}$ způsobuje podráždění žaludku, nevolnost, zvracení a střevní potíže. Dochází k poklesu červených a bílých krvinek. Celkové obecné projevy jsou únava, srdeční arytmie, pálení dlaní a chodidel.

Chronické účinky: při dlouhodobém orálním příjmu vzniká chronická otrava, která se projevuje kožními změnami, zejména zhrubnutí kůže na dlaních a chodidel, bradavicemi a změnami cévního systému.



Obr. 3.1 Účinky arsenu na rukách [7]

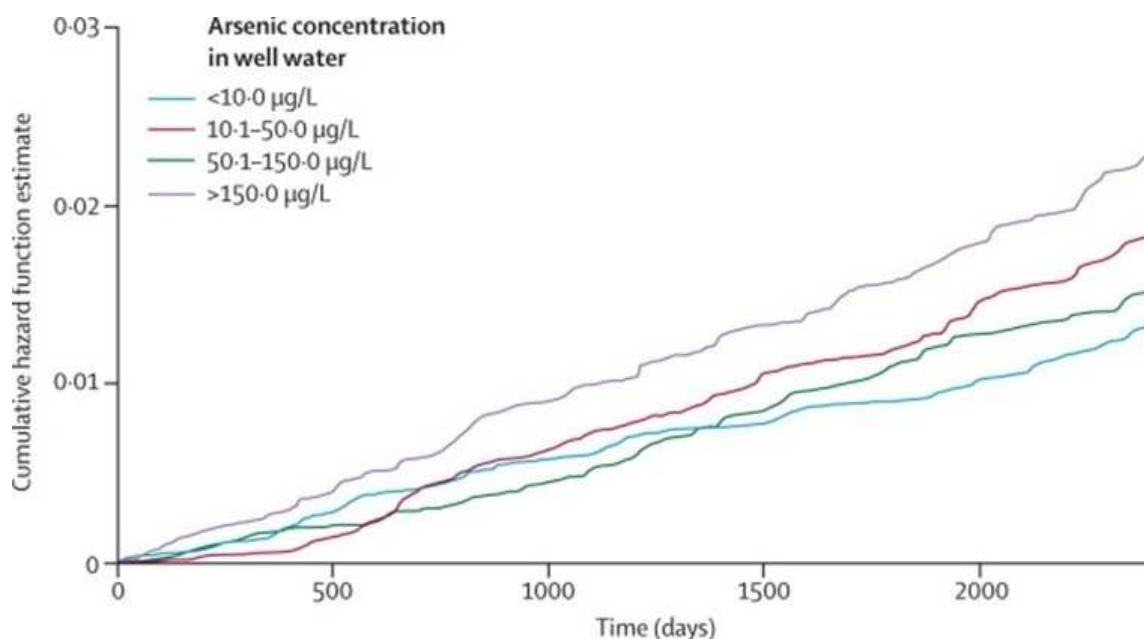
Problém s obsahem arsenu ve vodě se týká celého světa. Nejvíce kontaminované vody jsou dle vědců v Bangladéši. Vodní díla jsou zde skládkami odpadů, ze kterých se arsen dostává i do spodních vod. Zde pije a používá kontaminovanou vodu cca 25 milionů lidí. Bylo zjištěno, že 20 % úmrtí v této zemi je způsobeno užíváním a pitím této vody. Kontaminace spodních vod arsenem je problém zaznamenaný i v Argentině, Chile, Číně, Indii, Mexiku, Thajsku či USA. Zdaleka však nedosahuje takových koncentrací a množství jako v Bangladéši.

Projekt na hodnocení rizik arsenu

Název projektu ASHRAM projekt: Hodnotenie rizika arzenu a molekulárna epidemiológia.

Podrobný výzkum na hodnocení rizik arsenu z příjmu vody byl proveden na Slovensku a jeho výsledky byly prezentovány na konferenci Pitná voda v Trenčianských Teplicích v roce 2009. Byly zkoumány zejména účinky arsenu na člověka z karcinogenního rizika (rakovina kůže, močového měchýře a ledvin). Cílem projektu bylo mimo jiné přispět ke zlepšení hodnocení zdravotního rizika arsenu a rakoviny. Studované oblasti byly vybrány na Slovensku, Rumunsku a Maďarsku. Celkem bylo do analýz zahrnuto 948 pacientů s onemocněním rakoviny.

Výsledkem projektu byl zjištěn pozitivní vztah mezi expozicí arsenu a všemi třemi druhy rakovinových onemocnění. Dále výsledky poskytli důkazy o účincích arsenu i v malých koncentracích v pitné vodě.



Obr. 3.2 Riziko úmrtnosti [7]

Riziko úmrtnosti v závislosti na čase stanovené pro různé koncentrace arsenu v pitné vodě. Data byla ošetřena, aby nebyl výsledný efekt zkreslen vlivem věku, pohlaví, kouření, obézností, systolickým krevním tlakem a vyšší společenského statutu – vzděláním.

3.2.4 Legislativní požadavky na obsah arsenu v pitné vodě a půdě

V odborné literatuře začala být otázka ohledně arsenu intenzivněji diskutována v druhé polovině 20. století. Pro ČR se prvním závazným předpisem ohledně koncentrace arsenu v pitné vodě stala norma ČSN 56 7900 Pitná voda, která vstoupila v platnost 1.7.1959. Zajímavostí je, že Československo si od počátku stanovilo přísnější limitní hodnotu než uváděli tehdejší mezinárodní standarty WHO ($0,2 \text{ mg.l}^{-1}$, v.r. 1963 úprava na $0,05 \text{ mg.l}^{-1}$). Maximální koncentrace v tomto předpisu byla stanovena na $0,05 \text{ mg As.litr}^{-1}$. V roce 1964 byla norma nahrazena ČSN 83 0611, která povolovala stále stejnou hodnotu koncentrace. Stejná hodnota byla použita i v ČSN 75 7111 vydaná v roce 1991. V roce 2001 došlo ke změně na $0,01 \text{ mg As.l}^{-1}$ ve vyhlášce MZ 376/2000 Sb. Nová vyhláška platná od roku 2004 MZ 252/2004 Sb. nezměnila nejvyšší mezní hodnotu arsenu, která platí dodnes. Dnes platící vyhláška ministerstva zdravotnictví je zcela v souladu s doporučením WHO i směrnicí rady č.98/83/ES nejvyšší mezní hodnotou $10 \mu\text{g.l}^{-1}$.

US EPA (agentura pro ochranu životního prostředí) doporučuje u arsenu, jakožto látky podezřelé z karcinogenity, nulovou koncentraci v pitné vodě. V USA teprve od roku 2006 platí stejná koncentrace arsenu v pitné vodě jako v ČR.

SZÚ Praha povolil při nouzovém zásobování pitnou vodou v trvání do 30 dnů maximální koncentraci arsenu $0,03 \text{ mg.l}^{-1}$. Koncentrace $0,3 \text{ mg.l}^{-1}$ je dovolena u nouzového zásobování po dobu maximálně 7 dnů a platí pouze pro dospělého člověka a netýká se těhotných žen.

V tabulce 3.3 jsou chronologicky seřazeny dle platnosti normy a vyhlášky, které udávají maximální koncentraci arsenu v pitné vodě z vodovodu. Tabulka 3.4 slouží pro představu maximální možné koncentrace v ostatních vodách dle platných vyhlášek a nařízeních vlády.

Tab. 3.3 Právní předpisy o koncentraci As v pitné vodě

Předpis	Platnost	Limitní obsah arsenu
ČSN 56 7900 Pitná voda	1959-1964	Maximálně $0,05 \text{ mg As/litr}$
ČSN 83 0611 Pitná voda	1964-1974	Maximálně $0,05 \text{ mg As/litr}$
ČSN 83 0611 Pitná voda	1975-1990	Nejvýše $0,05 \text{ mg As/litr}$
ČSN 75 7111 Pitná voda	1991-2000	NMH $0,05 \text{ mg/l}$
Vyhláška MZ č. 376/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na pitnou vodu a rozsah a četnost její kontroly	2001-2004	NMH $10 \mu\text{g/l}$
Předpis	Platnost	Limitní obsah arsenu

Vyhláška MZ č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, ve znění pozdějších předpisů (vyhlášek č. 187/2005 Sb. a č. 293/2006 Sb.)	2004 – dosud	NMH 10 µg/l
Směrnice rady 98/83/ES, o jakosti vody určené k lidské spotřebě	1998 - dosud	10 µg/l

Poznámka: NMH je odvozena na podkladě přímých toxických účinků. Nervový jed kumulativního charakteru, podezřelý karcinogen. Hlavní zdroj je pitná voda, žádoucí hodnota - nepřítomnost [8]

Tab. 3.4 Právní předpisy o koncentraci As v ostatních vodách

Předpis	Požadavek	Limitní obsah arsenu
Vyhláška MZ č. 275/2004 Sb., o požadavcích na jakost a zdravotní nezávadnost balených vod a o způsobu jejich úpravy	Nejvyšší mezní hodnota koncentrace arsenu v balené přírodní minerální vodě	NMH 0,010 mg/l
	Nejvyšší mezní hodnota koncentrace arsenu v balených kojeneckých a pramenitých vodách	NMH 0,005 mg/l
NV Mze č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech	Užívání povrchových vod pro vodárenské účely	5 µg/l
	OV z těžby rud (kromě uranu)	0,5 mg/l
	OV z výroby a zpracování skla	1 mg/l
	OV ze spalování odpadů	0,15 mg/l
	OV ze strojírenské a elektrotechnické výroby	0,5 mg/l

Tabulka 3.5 udává platné vyhlášky určující nejvyšší koncentrace arsenu v látkách, které se ukládají v půdách. Kontaminované půdy mohou být zdrojem pro znečištění podzemních vod, případně i zdrojů pro úpravu vody Mokošín.

Tab. 3.5 Právní předpisy o koncentraci As v půdách

Předpis	Požadavek	Limitní obsah arsenu
Vyhláška MŽP č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě	Mezní hodnoty koncentrace rizikových látek a prvků v kalech pro jejich použití na zemědělské půdě	30 mg/kg sušiny
	Mezní hodnoty koncentrace rizikových prvků v půdě	20 mg/kg sušiny (běžné půdy) 15 mg/kg sušiny (písky, hlinité písky, štěrkopísky)
Vyhláška MŽP č. 257/2009 Sb., o používání sedimentů na zemědělské půdě	Limitní hodnoty rizikových prvků a rizikových látek v sedimentu	30 mg/kg sušiny
Vyhláška MŽP č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrch terénu	Požadavky na obsah škodlivin v odpadech využívaných na povrch terénu	10 mg/kg sušiny

3.2.5 Zdroje arsenu na ÚV Mokošín

V posledních 10 letech se v surové vodě na úpravně vody vyskytují zvýšené koncentrace rozpuštěného arsenu. Jedná se o vodní zdroj Jankovice a Brloh. Z ohrožených zdrojů je potrubí vedeno jednotně. Voda ze zdroje Brloh je přímo čerpána do Jankovic, kde je míchána s místním zdrojem a dále je čerpána na úpravnu vody potrubím z litiny DN 300. Je třeba upozornit, že v úpravně vody dochází ke smíchání s dalšími zdroji a koncentrace arsenu se minimalizuje.

Vrt Jankovice JA-6 má celkovou hloubku 66 m, zhruba do 5 metrů od terénu jsou kvartéry, dále do 30 metrů spodní turon, 30 – 60 m cenoman a posledních 6 metrů je jílové podloží.

Vrt Brloh V-3 má celkovou hloubku 60 m, kvartér je zde pouze 2,5 m, do 11 m se nachází turon, 11-39 m cenoman, zbytek do celkové hloubky tvoří podložní břidlice.

Maximální celkový odběr byl zaznamenán v roce 1989, činil 43,8 l.s⁻¹. Do roku 2006 se jednalo o největší zdroj pro úpravnu vody. Od roku 2007 v souvislosti se zvyšujícím se trendem nárůstu koncentrací arsenu ve vrtu Ja-6 došlo k celkovému poklesu čerpání.

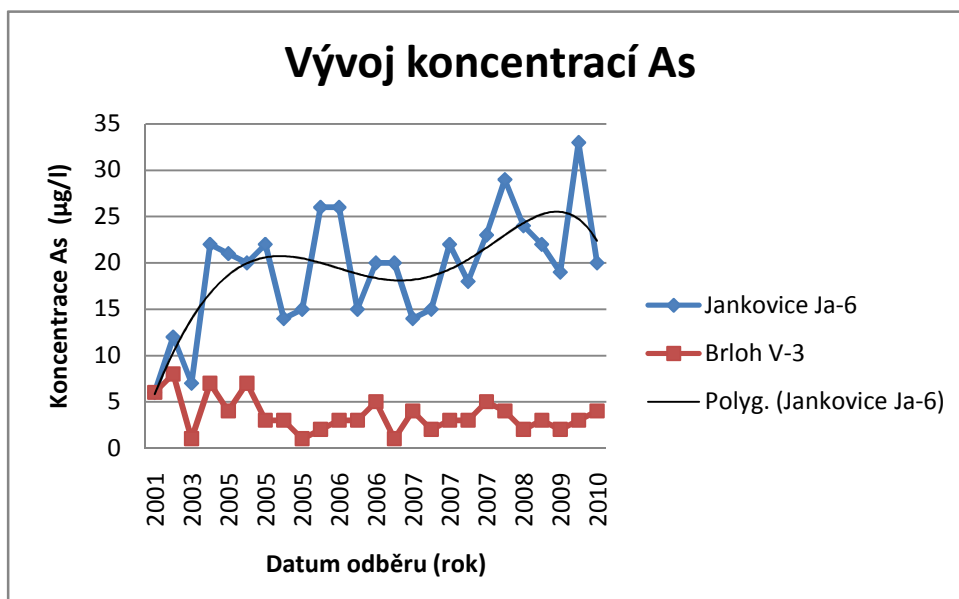
Naopak byl požádán příslušný vodoprávní úřad o zvýšení kapacity zdroje Brloh V-3 (ředění vrtu Ja-6).

Vývoj koncentrací arsenu ve vrtech Ja-6 a V-3

Ve vrtu Jankovice Ja-6 jímacího území Jankovice byl zaznamenán nárůst arsenu, od roku 2000 zpočátku mírný, od roku 2003 strmý. Ve vrtu V-3 se arsen také vyskytuje, ale jeho obsah stagnuje. Koncentrace se pohybují v jednotkách $\mu\text{g.l}^{-1}$. Z důvodu nedostatků měření koncentrace arsenu během jednotlivých let jsou zpracovávána data už od roku 2001 (Tab. 3.6). Z grafu na obr. 3.6 je patrné, jak koncentrace arsenu ve vodě ze zdroje Ja-6 v posledních deseti letech stoupla a naopak stagnace ve vrtu V-3.

Tab. 3.6 Vývoj koncentrace arsenu ve zdrojích

Jankovice Ja-6		Brloh V-3	
Datum	As [$\mu\text{g.l}^{-1}$]	Datum	As [$\mu\text{g.l}^{-1}$]
25.5.2001	6	13.10.01	6
17.6.2002	12	14.10.02	8
31.3.2003	7	22.4.03	1
16.2.2004	22	21.3.04	7
16.5.2005	21	1.6.04	4
13.6.2005	20	21.3.05	7
12.7.2005	22	16.5.05	3
3.10.2005	14	13.10.05	3
9.11.2005	15	9.11.05	1
15.8.2006	26	17.7.06	2
11.9.2006	26	15.8.06	3
2.10.2006	15	11.9.06	3
3.12.2006	20	2.10.06	5
15.1.2007	20	3.12.06	1
19.2.2007	14	15.1.07	4
27.3.2007	15	29.1.07	2
17.4.2007	22	19.2.07	3
2.5.2007	18	27.3.07	3
4.6.2007	23	17.4.07	5
28.8.2007	29	28.8.07	4
25.3.2008	24	25.3.08	2
13.10.2008	22	13.10.08	3
14.4.2009	19	14.4.2009	2
26.10.2009	33	26.10.2009	3
24.5.2010	20	24.5.2010	4



Obr. 3.3 Vývoj koncentrací As na ÚV Mokošín

Možnosti ohrožení podzemních zdrojů pro ÚV Mokošín

Zájmové území je relativně rozsáhle prozkoumáno. Nachází se zde velké množství domovních studní a pozorovacích studní. Na území Vápenka-Litošice-Morašice-Zdechovice-Chvaletice byla provedena v 50. letech minulého století rozsáhlá síť vrtů, jelikož na území probíhala těžba pyritu pod společností Manganorudné a kyzové závody Chvaletice. Byly zde provedeny průzkumné práce pro zjištění uranu a lokalizace poddolovaného území. Nejmladšími jsou vrty v okolí Chvaletické elektrárny, které slouží k monitoringu, ale také pro čerpání podzemních vod za účelem snížení hladiny podzemní vody, včetně monitorovacího systému skládky komunálního odpadu společnosti Marius Pedersen. Toto území dříve využívala společnost Technické služby města Pardubice také jako skládku komunálního odpadu. V elektrárně Chvaletice probíhá ochranné čerpání jako ochrana základů betonových staveb (komín, chladicí věže atd.) před korozním účinkem extrémních koncentrací síranových iontů. V tabulce 3.7 je uvedeno čerpané množství vody za rok 2008.

Tab. 3.7 Čerpané množství elektrárna Chvaletice (2008) [9]

Označení čerpaného objektu	Hloubka od terénu [m]	Čerpané množství vody (2008) [m ³]
1 209 A	50	87 000
1 207 B	50	81 000
1 201	50	270 000

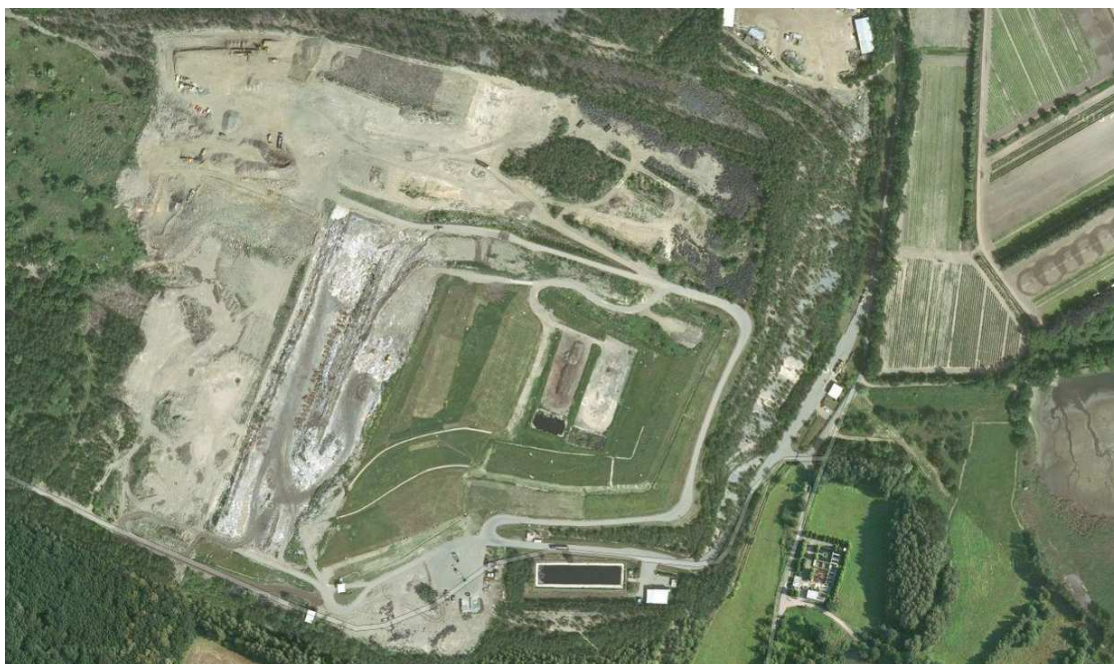
Jako možné zdroje znečištění podzemní vody arsenem jsou vytipovány možné činitelé, které mají historický nebo současný význam.

1) Znečištění ze skládky ve Chvaleticích (Zdechovice)

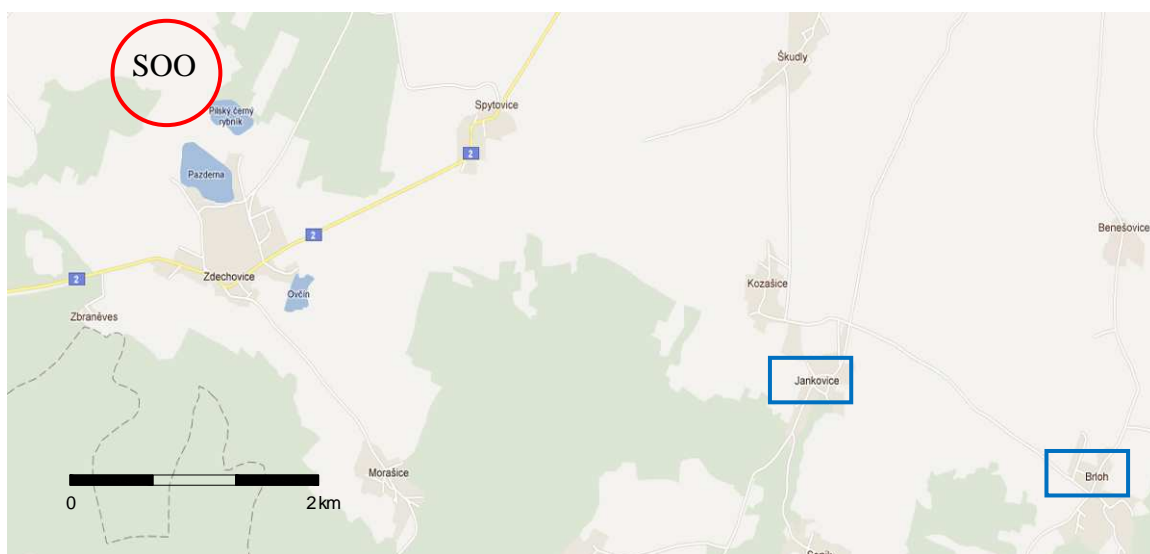
Jedná se o skládku ostatního odpadu s označením S-OO. Na tyto skládky je možno ukládat odpady spadající do kategorie ostatních odpadů. Jejich vodní výluh nesmí překročit žádný z ukazatelů limitní hodnoty III. třídy vyluhovatelnosti. Dále je zde možno ukládat upravené odpady kategorie ostatní odpad, jejichž přijatelnost na jednotlivé skupiny skládek nelze hodnotit na základě jejich vodného výluhu (např. komunální odpad, směsný stavební a demoliční odpad). Majitel areálu je akciová společnost Bohemian Waste Management. Vlastnickou strukturu společnosti tvoří 60% Marius Pedersen a.s., 20% Služby města Pardubic a.s. a 20% město Hradec Králové. Areál skládky se nachází v k.ú. Zdechovice, Chvaletice a Trnávka. Kapacita skládky je 120 tun uloženého odpadu za rok.

Zařízení obsahuje jednotlivá zařízení pro nakládání s odpady [10]:

- Skládka SOO - je zařízením pro odstraňování odpadů, tj. řízenému trvalému ukládání
- Biodegradační plocha – slouží k dekontaminaci „N“ odpadů znečištěných ropnými produkty
- Kompostárna - slouží ke kompostování biologicky rozložitelných odpadů
- Odplynění skládky – využívá skládkový plyn k výrobě elektrické energie
- Solidifikace – plánované zařízení určené ke stabilizaci a solidifikaci „N“ odpadů
- Zařízení pro zpracování a skladování „N“ odpadů – plánované zařízení
- Zařízení pro úpravu a využívání odpadu – výroba alternativního paliva – plánované zařízení pro úpravu komunálního a ostatního odpadu s využitím jeho spalitelných složek k výrobě alternativního paliva



Obr. 3.4 Areál skládky Chvaletice



Obr. 3.5 Situace skládky ke zdrojům pitné vody

2) Těžební a zatopený prostor bývalých manganorudných a kyzových závodů Chvaletice

V důsledku politické orientace došlo po roce 1948 k zastavení dodávek pyritu z kapitalistických států. V té době se do Československa dováželo ročně cca 250 kt pro chemii a 50 kt pro papírenský průmysl. Pro nahrazení bylo naleziště ložisek pyritu Chvaletice. Do té doby se zde těžily pouze železné a manganové rudy. Způsob těžby byl zvolen povrchovým dolem. Těžba zde probíhala do roku 1975. Poddolované území dnes využívá Chvaletická elektrárna.

3) Historické dobývky Vápenka – Litošice – Moravice – Zdechovice

4) Znečištění z odvalů hlušiny a přepracované rudniny

V dnešní době nejsou důlní díla na povrchu patrná, většina byla aplanována a přenechána přírodě. Je však možné vytipované oblasti alespoň rekonstruovat na podkladě map poddolování ČGS-Geofundu a na podkladě starých map z důlních činností.

5) Plošný vliv geologického podloží

Mapa geologického podloží je znázorněna v příloze č.1.

Lokalizace důlních děl

V oblasti **Chvaletice – Západ** jsou velice patrné pozůstatky velkolomu bývalého závodu MKZ, které jsou v současnosti vyplněny popílkovou suspenzí elektrárny. Dále se zde nachází dvě odkaliště s manganovými rudami. Na jihozápadě této oblasti jsou lokalizována území s těžebním průzkumem uranových rud. Východní odval je uzavřen současnou skládkou komunálního odpadu. Díla nejstarších etap těžby železných rud v prostoru velkolomu a jeho těsném okolí byla novodobou těžbou zlikvidována.

V oblasti **Chvaletice – Východ** jsou lokalizována pouze drobnější těžební díla. Mezi drobná těžební díla patří mělké šachtice a povrchové dobývky, které už jsou na povrchu aplanovány a jejich lokalizace je tedy značně nejistá. Vlivem zemědělské činnosti a rekultivace okolí jsou udávané zbytky hald dosti rozvlečené.

Úsek Zdechovice – Morašice charakterizují nejstarší důlní a průzkumná místa. Ale i tato místa jsou již dnes zcela aplanovaná. V 50 letech minulého století zde byly raženy průzkumné šachtice, v 60. letech bylo hloubeno průzkumné dílo na uran.

Z hlediska dochovaných projevů těžby a průzkumu na železo-manganové rudy je nejvíce dochovaných objektů v Litošicko-sovulském úseku. V lesním úseku mezi Litošicemi a Sovolusky jsou situovány povrchové i podzemní dobývky Pražské železářské společnosti s dochovanými zbytky odvalů. Jižní část úseku byla detailně

prozkoumána v 50. letech na pyrit a mangan (především v oblasti osady Vápenky severně od Semtěše). V místě dochované povrchové dobývky západně od Litošic byly kromě limonitových železných rud s manganem získávány i fosfáty ve formě destinezitu, delvauxitu či vivianitu. [11]

Celkově lze konstatovat po orientační a terénní revizi, že vlastní důlní díla jsou v současnosti bez pečlivé detailní analýzy a detailní báňsko-historické studie obtížně lokalizovatelná. Odvaly, mimo jasné evidované v databázi Geofondu a geologických dokumentacích, je možno po detailnější morfologické analýze v návaznosti na báňsko-historickou analýzu dohledat v terénu a vymezit, odhadnout kubatury a ovzorkovat. [10]

Mapa se zákresem poddolovaného území je znázorněna v příloze č. 2.

Distribuce arsenu v rudách a horninách

V 50. letech nebyl arsen posuzován jako možný kontaminant životního prostředí, proto v archivních materiálech byl sledován pouze okrajově. Množství arsenu a přítomnost arsenopyritu bylo stanoveno pouze při technologických zkouškách, kde byly analyzovány velkoobjemové vzorky. V chemických analýzách, kde byla k dispozici tehdy pouze semikvantitativní plamenná spektrometrie, vystupuje vždy jako doprovodný prvek nebo pouze ve stopách. Maximální obsah je udáván Němečkem a Klotzarem (1957) ze separovaného materiálu v rozmezí 1-0,01 % z upravnářské zkoušky.

Vzhledem ke svým vlastnostem se As vyskytuje v oblasti v následujících formách [9]:

- Syngenetický syngedimentární (vznik současně se sedimentem ostatního okolí) arzenopyrit v pyritové rudnině a pravděpodobně v nepodstatném množství s rozptýleným pyritem v břidlicích neložiskového stupně.
- Epigenetický v drobných žilkách spolu s dalšími sulfidy – sfalerit, gelenit. Vznikl zřejmě remobilizací fluid vlastního rudního tělesa, možná je i produktem magmatického přínosu. Vzhledem k distribuci epigenetických žilek se jedná o řídké výskyty.
- Izomorfně přimíšený do mřížky pyritu či fosfátů.
- Sekundárně sorbovaný do zvětralin gosanů (železných klobouků), případně předkřídových splachů a deponií při bázi cenomanu.
- Byl zaznamenán v monitoringu podzemních vod odkaliště popílku elektrárny Chvaletice v okolí prostoru bývalého velkolomu Manganorudných a kyzových závodů Chvaletice [13]

3.2.6 Naměřené hodnoty arsenu v okolí zdrojů pitné vody

V roce 2011 byla provedena Hydrogeologická studie ohrožení vodních zdrojů Jankovice a Brloh. Zprávu zpracovala organizace Vodní zdroje Ekomonitor, spol. s.r.o. Objednatel tohoto dokumentu byl VaK Pardubice a.s. V této kapitole jsou použity hodnoty naměřených koncentrací z této zprávy. Koncentrace arsenu ve vodách byly zjišťovány metodou atomové absorpční spektrometrie, pro koncentrace v pevných látkách byla použita spektrometrie. U všech vzorků byl použit přístroj Avanta v laboratoři.

Podzemní voda

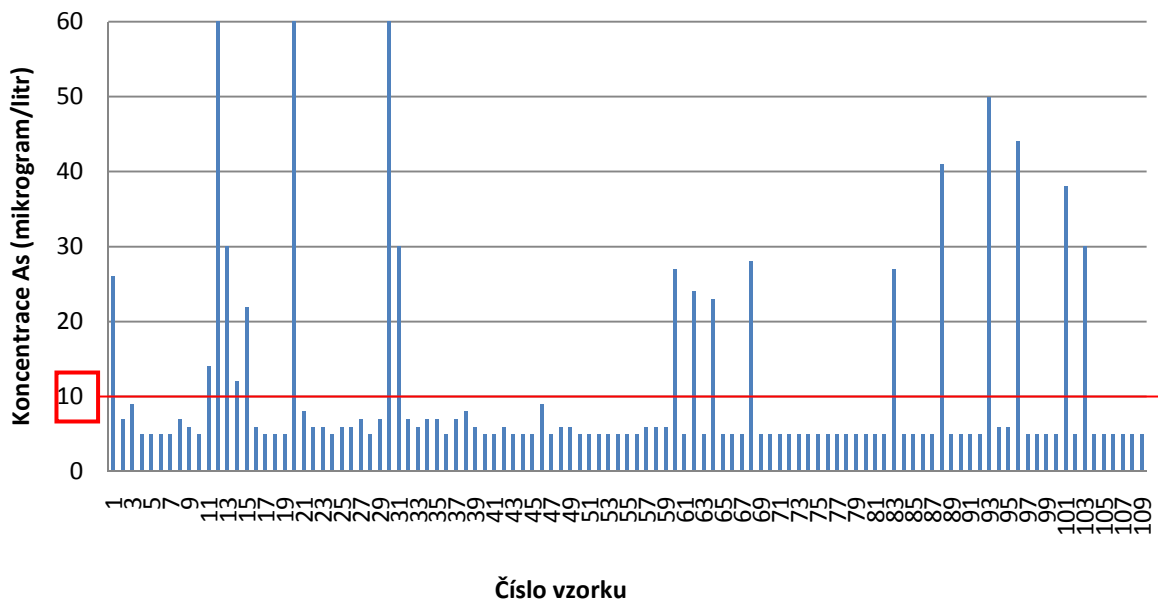
Hodnoty koncentrace arsenu v podzemní vodě pro výzkum možných zdrojů ohrožení byly měřeny od října roku 2010 do února roku 2011. Měření bylo provedeno na 109 vzorcích. Pro monitoring bylo využito stávajících využívaných a monitorovacích objektů doplněné o objekty ČHMÚ. Pro odebrání vzorků byl použit odměrný válec, který nabíral vodu ze statické hladiny. Pro splnění podmínek laboratoře o neporušitelnosti vzorků byly použity skleněné vzorkovnice s teflonovým těsněním a jejich manipulace byla omezena na minimální dobu. Vzorky byly chráněny proti teplu a světlu v chladícím boxu, který udržoval konstantní teplotu (2-5 °C).

Veškeré výsledky jsou uvedeny v příloze 3. V příloze 4 je znázorněna mapa oblastí, kde vzorkování probíhalo. V grafu na obr. 3.6 jsou znázorněny hodnoty koncentrací arsenu v různých lokalitách v okolí zdrojů vody pro úpravu vody Mokošín. Lokalitu odběru lze dohledat dle čísla vzorku v tabulce výsledků měření v příloze 3. Ve třech případech byla naměřena koncentrace $> 60 \mu\text{g.l}^{-1}$, hodnoty se pohybovali téměř k $1000 \mu\text{g.l}^{-1}$. V tabulce 3.8 jsou vzorky rozděleny do kategorií dle koncentrace arsenu v podzemní vodě.

Tab. 3.8 Koncentrace As v podzemní vodě

Koncentrace As	Počet vzorků
Hodnoty $\leq 5 \mu\text{g.l}^{-1}$	62
Hodnoty $5-10 \mu\text{g.l}^{-1}$	28
Hodnoty $> 10 \mu\text{g.l}^{-1}$	19
Celkem	109

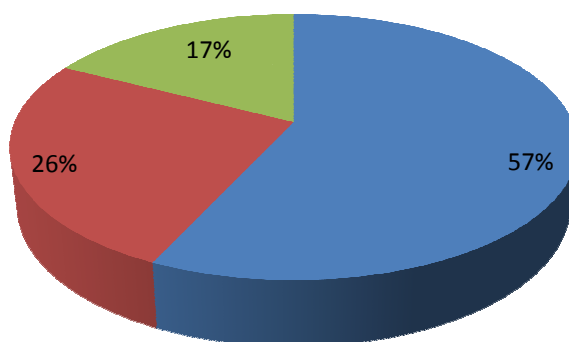
Koncentrace As v podzemní vodě



Obr. 3.6 Koncentrace As v podzemní vodě

Procentuelní zhodnocení vzorků podzemní vody

■ Hodnoty $\leq 5 \mu\text{g/l}$ ■ Hodnoty $5-10 \mu\text{g/l}$ ■ Hodnoty $> 10 \mu\text{g/l}$



Obr. 3.7 Procentuelní zhodnocení koncentrace As v podzemní vodě

Z grafu na obr. 3.7 je patrné, že u zhruba 83% vzorků nebyly naměřeny koncentrace větší, než $10 \mu\text{g.l}^{-1}$. U 17% vzorků je koncentrace arsenu větší jak $10 \mu\text{g.l}^{-1}$. Pokud by

byla voda využívána k pitným účelům, je nutné vodu příslušně upravovat a zbavit množství arsenu. V Benešovicích, Jankovicích, Krasnicích, Podvrdech a Seníku byly naměřeny hodnoty vyšších koncentrací ($> 10 \mu\text{g.l}^{-1}$) přímo v domovních studnách. V těchto oblastech se nedoporučuje využívat vodu jako pitnou.

Z koncentrací vyšších jak $10 \mu\text{g.l}^{-1}$ vyplývají dvě izolované oblasti s výskytem nadlimitních koncentrací arsenu v podzemní vodě. Jedná se o západní oblast (Chvaleticko), kde jsou koncentrace od 12 do $900 \mu\text{g.l}^{-1}$. Tyto koncentrace byly naměřeny v lokalitách bývalých Manganorudných závodů Chvaletice, v prostoru Elektrárny Chvaletice a v prostoru skládky ostatního odpadu Marius Pedersen. Další izolovaná oblast s nadlimitní koncentrací je patrná ve východní části – oblast Jankovice.

Koncentrace arsenu přímo ve vrtech, které slouží jako zdroj vody pro úpravnu vody mokošín, vykazují nadlimitní hodnoty pouze u zdroje v Jankovicích Ja-6. Ve vrtu Brloh množství arsenu nepřevyšuje ani $10 \mu\text{g.l}^{-1}$. V tabulce 3.9 jsou udány naměřené hodnoty v těchto vrtech.

Tab. 3.9 Koncentrace ve vrtech během hydrogeolog. studie

č.vzorku	Datum odběru	Oblast	Vrt	As [mg.l ⁻¹]
1	29.10.2010	Jankovice	Ja -6	0,026
2	29.10.2010	Brloh	V-3	0,007
68	13.1.2011	Jankovice	Ja-6	0,028
69	13.1.2011	Brloh	V-3	<0,005
83	28.1.2011	Mokošín	Ja-6	0,027
84	28.1.2011	Mokošín	V-3	<0,005
93	4.2.2011	Mokošín	Ja-6	0,05
94	4.2.2011	Mokošín	V-3	0,006

Povrchová voda

Hodnoty koncentrace arsenu v povrchové vodě pro výzkum možných zdrojů ohrožení byly měřeny od října roku 2010 do února roku 2011. Měření bylo provedeno na 17 vzorcích. Vzorky byly odebírány z rybníků a vodotečí v okolí vodních zdrojů pro ÚV Mokošín. Opět byly využity skleněné vzorkovnice s teflonovým těsněním. Odběr vody byl proveden těsně pod hladinou vzorkovačem. Vzorky vody byly opět uloženy do chladicího boxu.

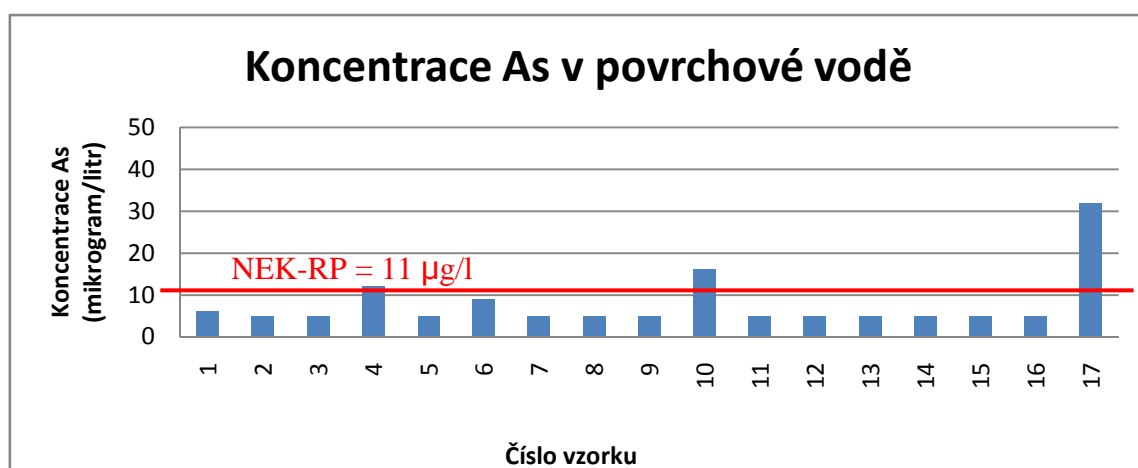
Veškeré výsledky jsou uvedeny v příloze 5. V příloze 6 je znázorněna mapa oblastí, kde vzorkování probíhalo. V grafu na obr. 3.8 jsou znázorněné hodnoty koncentrací arsenu

v různých lokalitách v okolí zdrojů vody pro úpravnu vody Mokošín. Lokalitu odběru lze dohledat dle čísla vzorku v tabulce výsledků měření v příloze 5.

V tabulce 3.10 jsou vzorky rozděleny do kategorií dle koncentrace arsenu v povrchové vodě. Jedná se o rozdělení dle NV 61/2003 Sb., kde hodnota koncentrace arsenu v povrchové vodě pro účel používání k vodárenským účelům je stanovena na 5 µg/l a hodnota 11 µg/l je brána jako průměrná normová hodnota ukazatele environmentálního znečištění povrchových vod.

Tab. 3.10 Koncentrace As v povrchové vodě

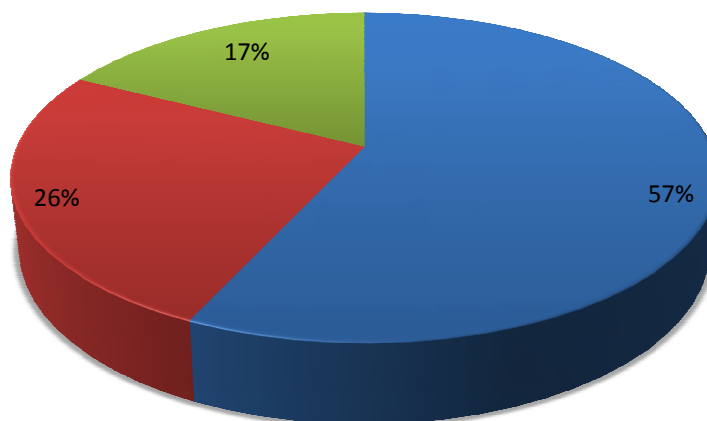
Koncentrace As	Počet vzorků
Hodnoty $\leq 5 \mu\text{g.l}^{-1}$	12
Hodnoty 5-11 $\mu\text{g.l}^{-1}$	2
Hodnoty $> 11 \mu\text{g.l}^{-1}$	3
Celkem	17



Obr. 3.8 Koncentrace As v povrchové vodě

Procentuelní zhodnocení vzorků podzemní vody

■ Hodnoty $\leq 5 \mu\text{g/l}$ ■ Hodnoty $5-10 \mu\text{g/l}$ ■ Hodnoty $> 10 \mu\text{g/l}$



Obr. 3.9 Procentuelní zhodnocení koncentrace As v povrchové vodě

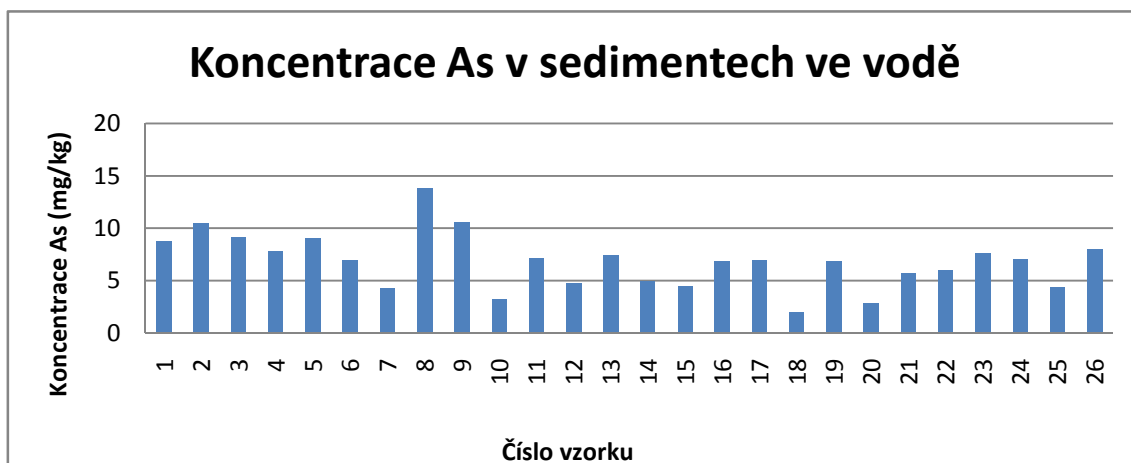
Koncentrace, které dle Vyhlášky 61/2003 Sb., převyšují maximální dovolenou koncentraci arsenu $5 \mu\text{g.l}^{-1}$ v povrchových vodách (pokud je voda využívána pro vodárenské účely) byly zjištěny u pěti vzorků. Jedná se zhruba o 30 % vzorků. Dále u třech vzorků byly zjištěny koncentrace převyšující průměrnou hodnotu environmentální kvality NEK-RP.

Nejvyšší koncentrace byly naměřeny v Brložském potoku v obci Pelechov (vzorek č.17).

Dnové sedimenty

Hodnoty koncentrace arsenu v dnových sedimentech pro výzkum možných zdrojů ohrožení byly měřeny v listopadu roku 2010 a v lednu roku 2011. Měření bylo provedeno na 26 vzorcích, z toho 6 vzorků bylo z rybníků. Vzorky byly odebírány z rybníků a vodotečí v okolí vodních zdrojů pro ÚV Mokošín. Odebírání vzorků bylo provedeno pomocí teleskopického odběráku. Vzorky vody byly opět uloženy do chladicího boxu.

Veškeré výsledky jsou uvedeny v příloze 7. V příloze 8 je znázorněna mapa oblastí, kde vzorkování probíhalo. V grafu na obr. 3.10 jsou znázorněné hodnoty koncentrací arsenu v různých lokalitách v okolí zdrojů vody pro úpravnu vody Mokošín. Lokalitu odběru lze dohledat dle čísla vzorku v tabulce výsledků měření v příloze 7.



Obr. 3.10 Koncentrace As v sedimentech ve vodě

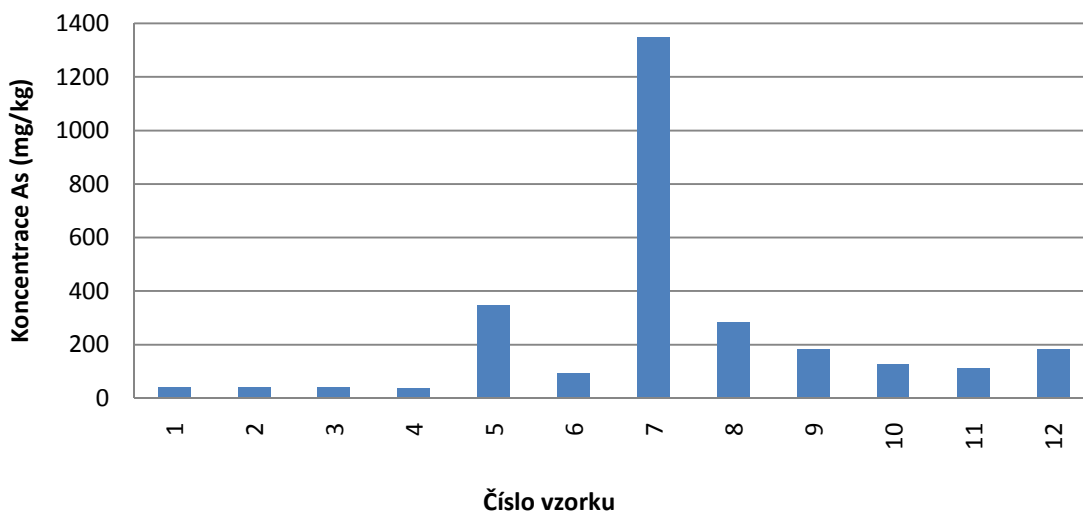
Při tomto měření byly zjištěny relativně nízké koncentrace arsenu. U rybníčních sedimentů je to způsobeno sorbční vlastností sloučenin arsenu, který se dokáže maximálně kumulovat. Nejvyšší koncentrace byla naměřena v rybníku Pelíšek v obci Sovoluské Lhoty (vzorek č.9). V případě potočních sedimentů byly zjištěny také nízké koncentrace i přesto, že zde nemá arsen tak ideální podmínky pro kumulování nejjemnějších částic. Nejvyšší koncentrace byla naměřena v Senickém potoce v obci Litošice (vzorek č.8).

Horniny

Hodnoty koncentrace arsenu v horninách pro výzkum možných zdrojů ohrožení byly měřeny v říjnu roku 2010 a v březnu roku 2011. Měření bylo provedeno na 12 vzorcích. Vzorky byly odebírány v horninách z předem doložených lokalit historické těžby Litošice a Semteš.

Veškeré výsledky jsou uvedeny v příloze 9. V příloze 10 je znázorněna mapa oblastí, kde vzorkování probíhalo. V grafu na obr. 3.11 jsou znázorněné hodnoty koncentrací arsenu v lokalitách historické těžby v okolí zdrojů vody pro úpravnu vody Mokošín. Lokalitu odběru lze dohledat dle čísla vzorku v tabulce výsledků měření v příloze 9.

Koncentrace As v horninách



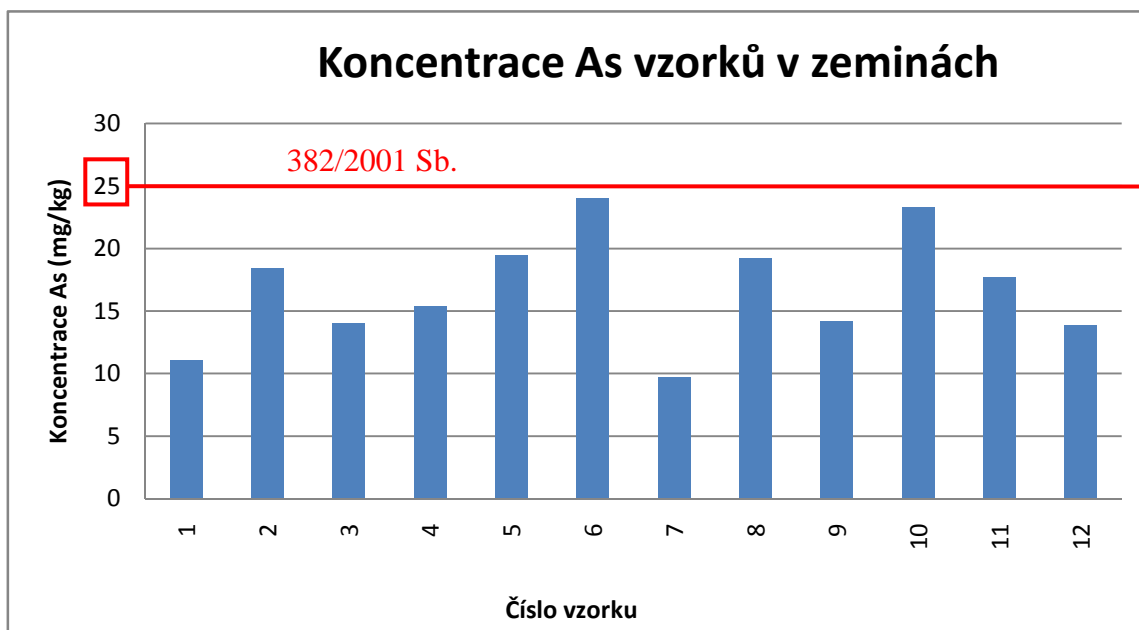
Obr. 3.11 Koncentrace As v horninách

Při zjišťování koncentrace arsenu v horninách v oblastech starých hornických hald byly zjištěny zvýšené hodnoty arsenu. Maximální koncentrace byla naměřena v Litošicích (vzorek č.7). Ostatní vzorky už vykazovaly podstatně menší hodnoty.

Zeminy

Hodnoty koncentrace arsenu v zeminách pro výzkum možných zdrojů ohrožení byly měřeny v listopadu roku 2010. Měření bylo provedeno na 12 vzorcích. Vzorky byly odebírány v zemědělské půdě z cca 50 – 60 cm pod úrovní terénu na přechodu ornice - podorníčí. K získání zkušebních vzorků bylo použito pedologické tyče. Vzorky byly ukládány do skleněných vzorkovnic o objemu 250 ml. Každý vzorek byl před uložením do vzorkovnice homogenizován. Opět byly vzorky uloženy v chladicím boxu a jejich manipulace byla omezena na minimální dobu.

Veškeré výsledky jsou uvedeny v příloze 11. V příloze 12 je znázorněna mapa oblastí, kde vzorkování probíhalo. V grafu na obr. 3.12 jsou znázorněné hodnoty koncentrací arsenu v zeminách v okolí zdrojů vody pro úpravnu vody Mokošín. Lokalitu odběru lze dohledat dle čísla vzorku v tabulce výsledků měření v příloze 11.



Obr. 3.12 Koncentrace As vzorků v zeminách

Při hodnocení koncentrace arsenu byly zjištěny převážně podlimitní hodnoty. Dle vyhlášky 382/2001 Sb., jsou v příloze 2 udány mezní koncentrace arsenu v běžných půdách 20 mg.kg^{-1} sušiny a 15 mg.kg^{-1} sušiny v pískách, hlinitých pískách a štěrkopískách. Pokud by byla půda vyhodnocována dle KELLY metody, jednalo by se o půdu bez kontaminace. Limit v této metodě je 30 mg.kg^{-1} . [14]

3.2.7 Závěry z hydrogeologické studie

Celkem bylo prověřeno 176 vzorků. U všech bylo stěžejní zjistit koncentraci arsenu. U některých byla provedena také analýza na ostatní těžké kovy a obsažené sloučeniny. Z těchto měření vyplývá možná skutečnost znečištění. Nejedná se však o znečištění od zemin ani vody povrchové. V příloze 13 jsou zakresleny oblasti v mapě, které vykazují největší koncentrace arsenu ve vodě. Dále byl zpracován matematický model proudění podzemní vody, který prokázal, že kolektor cenomanských pískovců je v podstatě rozdělen do několika samostatných celků s odděleným režimem podzemních vod. To je způsobeno izolací jednotlivých úseků horninami paleozoika nebo tektonicky predisponovanými elevacemi a lokálním výzdvihem některých částí křídových sedimentů do té míry, že omezují možnost přetoku podzemní vody z cenomanských pískovců jedné kry do druhé. Prostor cenomanských pískovců mezi Jankovicemi a Přeloučí je dotován výhradně sestupným proudem podzemních vod ze severovýchodních svahů Železných hor a také zřejmě vcezem Senického potoka.

Dotace z přímé infiltrace atmosférických srážek je vzhledem k plošně malé výchozové oblasti cenomanu velmi nízká. Pro vrt Jankovice Ja-6 je brána jako zdrojová oblast severovýchodní svah Železných hor. Rychlost proudění podzemní vody je kolem 66 m.rok^{-1} . Je tedy reálné, že v současné době přitékají k vrtu Jankovice Ja-6 podzemní vody, jejichž chemické složení se formovalo v období 50. let 20. století. Z tohoto důvodu lze původ zvýšených koncentrací arsenu hledat v sulfidických rudách v pruhu směřujícím od Chvaletic přes prostor kolem Litošic až k Sovoluskám. Směr proudu podzemních vod je určen rozvodnicí a vymodelováním hydroizohyps podzemní vody (obr. 3.13 a obr. 3.14). Oblast pro dotaci vrtu Ja-6 je na jihu vymezena linií vedoucí přibližně od Krasnic přes Litošice ke hřbetu mezi obcí Litošice a Brložským potokem. Od tohoto hřbetu a obce Krasnice směřuje okraj zdrojové oblasti směrem na sever až severovýchod k čerpanému vrtu Ja-6.

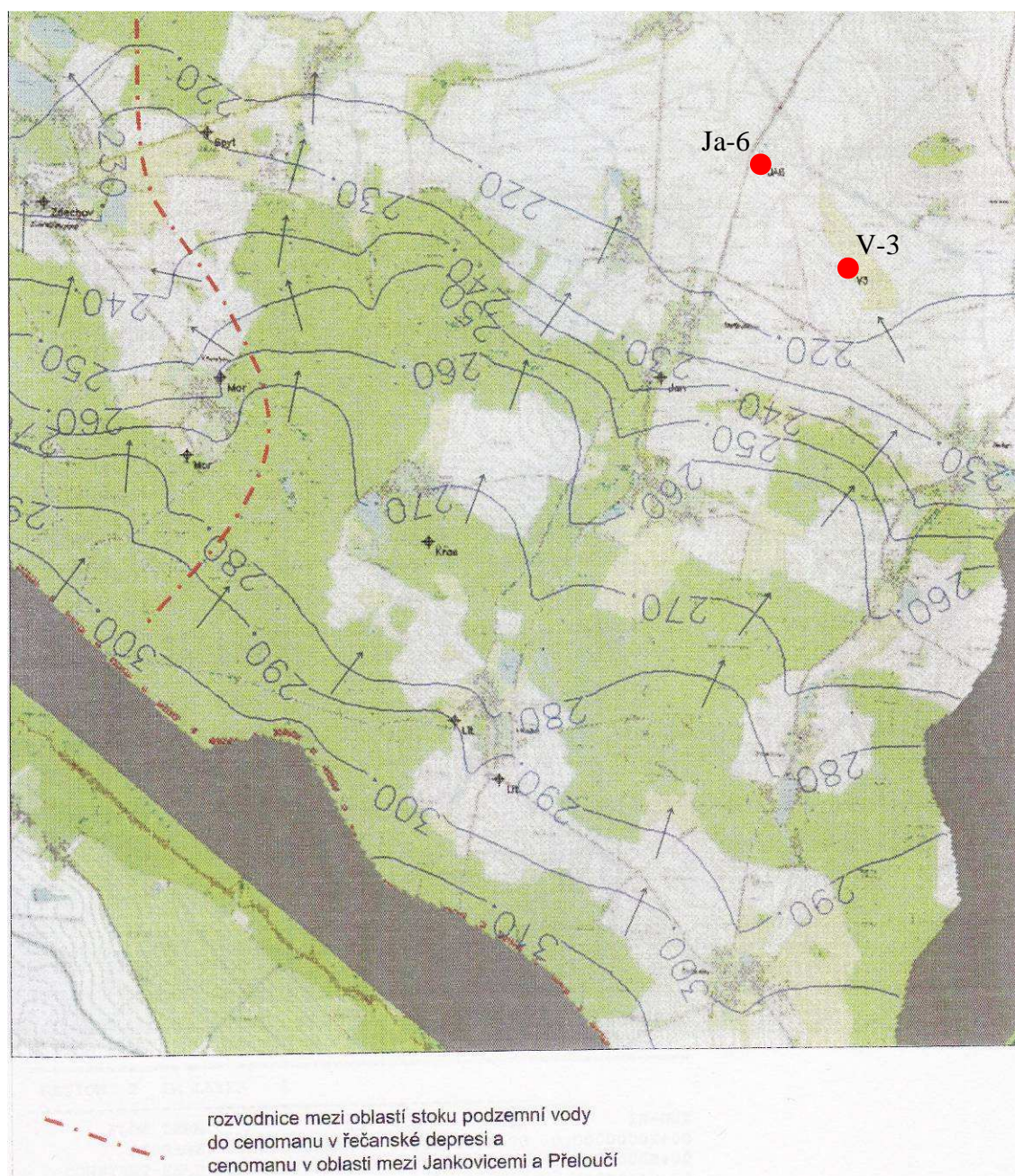
Zvýšené koncentrace arsenu zjištěné v západní oblasti sledovaného území (prostor důlních výsypek bývalých MKZ Chvaletice, prostor elektrárny Chvaletice, skládka SOO) nemohou tedy kontaminovat podzemní vody ve zdroji pro ÚV Mokošín. Podzemní voda z těchto oblastí proudí severovýchodně. Mohou být tedy ohroženy domovní studny v prostoru Řečany – Chvaletice a řeka Labe.

Zdrojem arsenu ve vrtu Ja-6 připadá tedy v úvahu hornina z prostoru Sovolusky – Litošice – Krasnice. Geologické pozadí výskytu arsenu bylo zřejmě značně umocněno důsledky dlouhodobé hornické činnosti ve sledovaném území.

Otázkou však zůstává, jak je možné, že koncentrace arsenu ve vrtu Brloh V-3 ustávají a vykazují odlišné hodnoty než vrt Ja-6. Oba vrty mají stejné dotační podmínky podzemní vody.[9]



Obr. 3.13 Hydroizohypsy podzemní vody



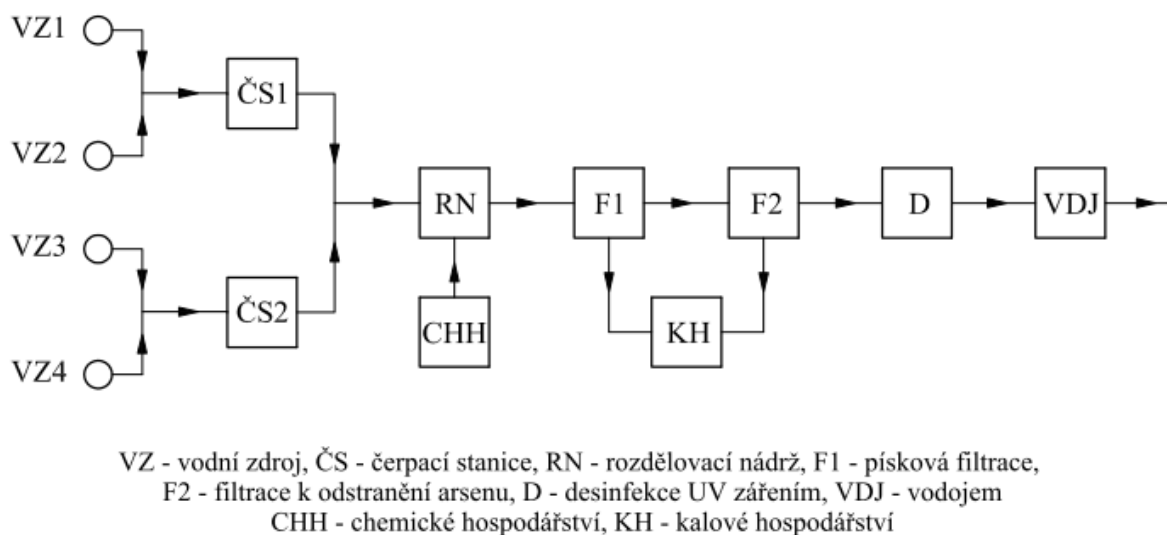
Obr. 3.14 Detail - hydroizohypsy podzemní vody

3.2.8 Úprava vody na ÚV Mokošín s ohledem na arsen

Na úpravně vody se míchá voda ze čtyř zdrojů. Po smíšení dochází ke snížení celkové koncentrace arsenu. Při zjištění větších koncentrací arsenu ze dvou vrtů (Ja-6 a V-3) byl navýšen přítok ze zdrojů bez kontaminace arsenu. Zbytkové koncentrace arsenu se sorbují na vysráženém železe a s ním se odstraňují na pískových filtrech. Aby k této reakci docházelo, je třeba nejdříve arsen oxidovat z mocenství III na V. Mírná oxidace

probíhá provzdušněním při přepadu vody z rozdělovací nádrže a oxidačním činidlem manganistanem draselným. Nejedná se však o metodu zaměřenou na odstranění arsenu.

Pokud by došlo v budoucnu k navýšení koncentrace arsenu nebo by arsen transportoval do ostatních zdrojů, je nezbytně nutná instalace speciálního zařízení k odstranění arsenu. Možné speciální zařízení jsou uvedené v kapitole 3.2.9. Ve schématu obr. 3.15 je znázorněné blokové schéma, do kterého je zařazena filtrace k odstranění arsenu.



Obr. 3.15 Blokové schéma se zařazenou filtrací k odstranění arsenu

3.2.9 Technologie úpravy pitné vody k odstranění arsenu

K odstranění těžkých kovů z vody existuje mnoho způsobů. V současnosti se nejvíce využívá sorpce na granulované médium na bázi oxidu železa. Jedná se o selektivní, nenáročnou, ekonomicky přijatelnou a velmi účinnou metodu, která je schopna snížit koncentraci arsenu ve vodě pod limit $10 \mu\text{g.l}^{-1}$. Principem funkce je nevratná chemisorpce odstraňovaného arsenu. Mezi nejrozšířenější adsorbenty patří:

- GEH
- Kemira CFH
- Bayoxide E33

Mezi další technologie úpravy pitné vody k odstranění těžkých kovů patří mikrofiltrace a reverzní osmóza. Tyto metody nejsou časté při úpravě pitné vody na úrovni veřejného zásobování vodou.

V ČR je technologie sorpce aplikována asi na deseti úpravách vody. Jedná se většinou o malé úpravy, které zásobují menší obce o desítkách až stovkách obyvatel. Největší úprava vody, na které je zařazena filtrace k odstranění arsenu zásobuje zhruba 7 tisíc obyvatel.

GEH (Granulated Eisen Hydroxide)

Adsorbent GEH byl vyvinut na Berlínské univerzitě na katedře Kontroly kvality vody za účelem odstraňování arsenu a antimonu z vody. Vyrábí ho německá firma GEH-Wasserchemie GmbH. Technologie úpravy je tvořena z adsorpce kontaminantu na granulovaný hydroxid železitý (GEH sorbent) uložený v reaktoru, kterým protéká upravovaná voda. Do ČR je dovážen společností Inform-Consult Aqua s.r.o, Příbram. V tabulce 3.11 jsou uvedené vlastnosti filtračního materiálu dle katalogového listu výrobce.

Tab. 3.11 Vlastnosti filtračního materiálu GEH

Parametr	Jednotka	GEH
Chemické složení	-	Fe (OH) ₃ + β Fe-O-OH
Obsah sušiny	%	57 (± 10)
Obsah železa	g.kg ⁻¹	610 (± 10)
Velikost částic	Mm	0,2 – 2
Objemová hmotnost	g.cm ⁻³	1,25
Spec. povrch	m ² .g ⁻¹	250-300
Abs. kapacita	g As.kg ⁻¹	8-10
Pracovní oblast pH	-	5,5 - 9
Pórovitost zrn	%	72 - 77
Barva	-	Tmavě hnědá až černá
Popis	-	Vlhký zrnitý materiál

Aby byla úprava vody a odstranění nežádoucích kovů (arsenu) co nejefektivnější, je třeba dodržet a dbát na optimální provozní parametry dané výrobcem. V tabulce 3.12 jsou uvedeny základní provozní parametry filtru a podmínky na vodu před úpravou.

Tab. 3.12 Provozní parametry při použití GEH

Parametr	Jednotka	GEH
Výška filtru	m	0,8 – 1,6
Filtrační rychlost	m.h ⁻¹	≤20
Přípustná tlak. ztráta	bar	Max. 0,5
Zpětný průtok praní	m.h ⁻¹	26
Úprava pH	-	5,5 - 9
Doba trvání praní	-	Do průhledné barvy odtékající vody

Dále se doporučuje úprava arsenu ve vodě z As^{III} na As^V. Zvýší se tím účinnost odstranění, jelikož vyšší formy arsenu se lépe adsorbují. Materiál GEH je dodáván v plastových sudech nebo v cisternách. Výrobek by se neměl vystavovat intenzivnímu slunečnímu záření, aby nedošlo k vysušení.

Prostředek GEH má také mnoho aplikací při úpravě vody v domácnosti pomocí zařízení Dionela FAS4 firmy Aqua Aurea s.r.o.



Obr. 3.16 Filtrační materiál GEH

Kemira CFH

Adsorbent CFH byl vyvinut společností Kemira ve Finsku. Jedná se o granulované médium na bázi oxidu hydroxidu železa. Výhodou tohoto materiálu je snadná manipulace a téměř žádné požadavky na skladování materiálu. Praní tohoto filtru je možné vodou i vzduchem. Do ČR je dovážen společností Kemwater ProChemie s.r.o., Bakov nad Jizerou. Na trhu se objevují 2 typy tohoto materiálu s označením CFH12 a CFH0818. Rozdíl v těchto materiálech je v zrnitosti. Rozdílné zrnitosti jsou znázorněny v tabulce 3.13. Obecné vlastnosti filtračního materiálu dle katalogového listu výrobce jsou uvedeny v tabulce 3.14.

Tab. 3.13 Zrnitost filtračních materiálů Kemira

Kemira CFH 12		Kemira CFH 0818	
Rozptyl [mm]	Zastoupení [%]	Rozptyl [mm]	Zastoupení [%]
2 – 0,85	92,7	2 – 0,5	97,6
< 0,85	5,9	< 0,5	2,4
> 2	1,4	> 2	0

Tab. 3.14 Vlastnosti filtračního materiálu CFH

Parametr	Jednotka	CFH
Chemické složení	-	Fe-O-OH
Velikost částic	mm	1 – 2
Objemová hmotnost	g.cm ⁻³	1,12
Spec. povrch	m ² .g ⁻¹	120
Abs. kapacita	g As.kg ⁻¹	4,9 – 5,2
Pracovní oblast pH	-	6,5 – 7,5
Pórovitost zrn	%	72 - 80
Barva	-	Hnědá až hnědočervená
Popis	-	Suchý zrnitý materiál

Aby byla úprava vody a odstranění těžkých kovů (arsenu) co nejefektivnější, je třeba dodržet a dbát na optimální provozní parametry dané výrobcem. V tabulce 3.15 jsou uvedeny základní provozní parametry filtru a podmínky na vodu před úpravou.

Tab. 3.15 Provozní parametry při použití CFH

Parametr	Jednotka	CFH
Výška filtru	m	1 – 1,6
Filtrační rychlost	m.h ⁻¹	≤ 19,8
Přípustná tlak. ztráta	bar	Max. 0,52
Zpětný průtok praní	m.h ⁻¹	48,6
Úprava pH	-	6,5 – 7,5
Doba trvání praní	-	Do průhledné barvy odtékající vody

Dále se doporučuje úprava arsenu ve vodě z As^{III} na As^V. Zvýší se tím účinnost odstranění, jelikož vyšší formy arsenu se lépe adsorbují. Materiál je možno zakoupit v pytlovém balení po 25 kg.



Obr. 3.17 Filtrační materiál Kemira CFH 0818

Bayoxide E33

Bayoxide je granulované médium na bázi oxidu železa. Byl vyvinut společností Severn Trent ve spolupráci se společností Bayer AG. Systém pro odstranění arsenu byl nazván SORB 33. Výhodou tohoto systému je odstraňování As^{III} a As^{V} spolu s odstraněním železa a manganu. Udávaná schopnost úpravy vody s obsahem arsenu $11 - 5000 \mu\text{g.l}^{-1}$ a obsahem železa $50 - 10\,000 \mu\text{g.l}^{-1}$. Jedná se o prvek, který má vysokou účinnost na odstranění arsenu, je mechanicky robustní, stabilní, má stálou velikost zrna, nízký louhovací potenciál, nízký pokles tlaku a je okamžitě efektivní při startu a ukončení procesu úpravy. [15]

V tabulce 3.16 jsou uvedené vlastnosti filtračního materiálu. Z tabulky je patrné, že jeho objemová hmotnost je až 3x menší než u ostatních materiálů na bázi železa.

Tab. 3.16 Vlastnosti filtračního materiálu Bayoxide E33

Parametr	Jednotka	BAYOXIDE E33
Chemické složení	-	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Fe O-OH}$
Velikost částic	mm	0,5 – 2
Objemová hmotnost	g.cm^{-3}	0,45
Spec. povrch	$\text{m}^2.\text{g}^{-1}$	120 – 200
Abs. kapacita	g As.kg^{-1}	4,9 – 5,2
Pracovní oblast pH	-	6 - 8
Pórovitost zrn	%	85
Barva	-	Jantarová
Popis	-	Suchý zrnitý materiál

Celkový výsledek odstranění je uváděn až 99% při splnění provozních podmínek pro filtraci a upravované vody, které jsou stejné jako u předchozích materiálů, kde se jedná zejména o úpravu pH.[16]



Obr. 3.18 Bayoxide E33 [17]

Membránová technologie

Jedná se o zařízení s využitím membránové mikrofiltrace. Zařízení pracuje pod tlakem, což umožňuje dlouhé intervaly mezi prováděním jednotlivých kroků čištění filtru na místě. Umožňuje provoz při vysokém zákalu, poskytuje bariéru proti průniku mikroorganismů a tím zabraňuje jejich dalšímu pronikání do rozvodů pitné vody. Používají se na úpravách vody, ale i na čistírnách odpadních vod. Systémy jsou uspořádány v modulech pro různé výkony. Membránový systém Pall ARIA je možno instalovat do úpravny vody s výkonem až $170 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Při větších výkonech se moduly mohou kombinovat.

Při využití na úpravě vody je systém schopen odstranit mikroorganismy, parazity, bakterie, zákal, koloidní složky, železo, mangan, arsen a redukuje obsah organických sloučenin.

Pro odstranění arsenu je nutné do vody přidat koagulant na bázi železa (chlorid železitý, $15 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$), který ve vodě hydrolyzuje na hydroxid železitý (ve formě částic) s pozitivním nábojem. Ten na povrchu sorbuje negativně nabitý As^{V} a je odstraněn membránovou mikrofiltrací.

Předúprava spočívá pouze v přidavku chemikálií (úprava $\text{pH} < 8$ + koagulant) a rychlém smíchání. Účinnost této metody je velmi vysoká, i v případech vysokého obsahu arsenu ve vodě (přes 100 ppb) se snižuje obsah pod detekční limit přístrojů (2 ppb). Což splňuje požadavky předpisů ($10 \text{ ppb} = 10 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$). [18]

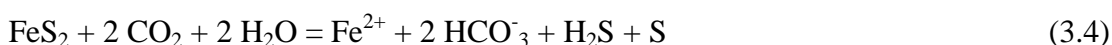
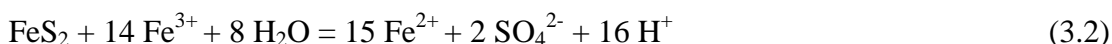
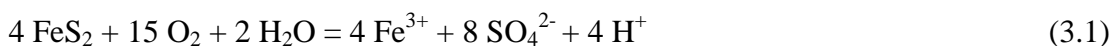
3.3 ŽELEZO

Železo je druhý nejrozšířenější kov na Zemi. Řadí se mezi přechodové prvky. V přírodě se minerální železa vyskytují ve velkém množství. Pro využití se železo z minerálů získává pomocí redukce ve vysokých pecích. Je významnou surovinou nejen v průmyslu, ale také jako biogenní prvek, v organismu se podílí na přenášení kyslíku k buňkám a tím umožňuje život mnoha organismům.

3.3.1 Geneze železa

Prvek železa je obsažen v železných rudách. Mezi nejrozšířenější železné rudy patří pyrit FeS_2 , krevet Fe_2O_3 , magnetovec Fe_3O_4 , limonit $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ a siderit FeCO_3 . V malé míře se železo nachází také v řadě přírodních hlinitokřemičitanů. Obohacování vody železem ovšem není založeno pouze na pouhém rozpouštění, bez chemických reakcí by se železo dostávalo do vody minimálně. Rozpuštění je dáno ve velké míře přítomností oxidu uhličitého a huminových látek. Chemické, ale i biochemické procesy jsou uplatňovány při mechanismu oxidace pyritu a jiných sulfidických rud. Aby mohla probíhat biochemická reakce, je nutná přítomnost chemolitotrofních mikrobů *Thiobacillus* nebo *Ferrobacillus*. Oxidaci pyritu lze vystihnout sumární rovnicí (3.1), ovšem mechanismus oxidace je poměrně složitý. Uplatňuje se například také chemická redukce vzniklých iontů Fe^{3+} pyritem dle uvedených rovnic (3.2, 3.3). V anoxických podmínkách dochází k rozkladu pyritu za větší přítomnosti CO_2 dle rovnice (3.4).

Rovnice geneze železa [5]:

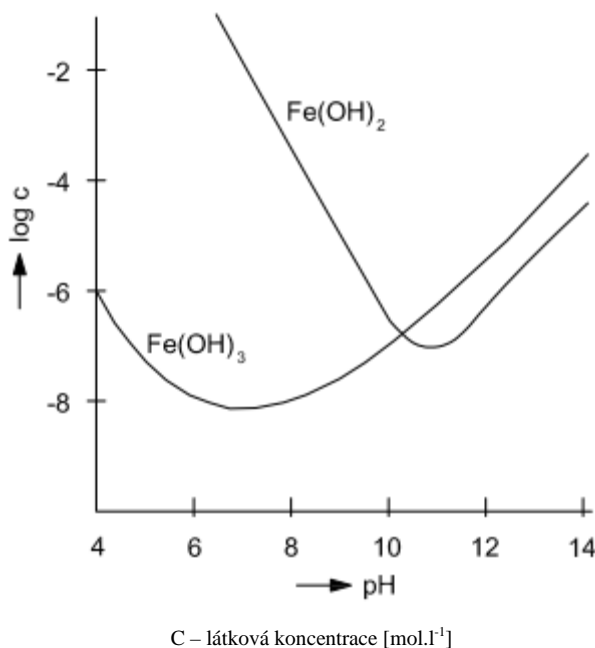


Mezi antropogenní zdroje železa v přírodní a užitkové vodě patří některé průmyslové odpadní vody a korozní procesy ve vodovodním potrubí.

3.3.2 Výskyt železa ve vodách

Železo se ve vodách vyskytuje v oxidačním stupni II a III. Forma výskytu je závislá na hodnotě pH, oxidačně-redukčním potenciálu a komplexotvorných látkách přítomných ve vodě. Obecně platí, že u vod podzemních je železo v oxidačním stupni II. Vychází se z předpokladu, že se jedná o anoxické redukční prostředí. Totéž platí i o prostoru u dna nádrží a jezer. Rozpustnost železa ve formě Fe^{II} a Fe^{III} v závislosti na pH je uvedena v diagramu obr. 3.19. Tento diagram vychází ze součinů rozpustnosti zobrazených sloučenin. Při vysokém pH dochází k částečnému rozpouštění hydroxidu železnatého za tvorby hydroxokomplexu, a proto se od $\text{pH} > 12$ koncentrace Fe^{2+} v roztoku s růstem

hodnoty pH opět zvyšuje. Dále z tohoto diagramu vyplývá malá rozpustnost solí železa v prokysličené přírodní vodě o $\text{pH} > 6$. V této oblasti je koncentrace Fe^{III} v rozpustné formě řádově v $\mu\text{g.l}^{-1}$. [22]



Obr. 3.19 Diagram rozpustnosti amorfního železa [5]

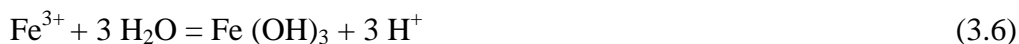
Železo je běžnou součástí podzemních i povrchových vod, pokud není překročena tzv. obvyklá koncentrace železa. Její stanovení není jednoznačné a mez je rozdílná dle mnoha faktorů. Proto není možné obecně určit přijatelnou mez a hodnotu, kdy je voda už kontaminována železem (nejedná se o vodu k pitné potřebě). Železo ve vodě je vždy doprovázeno také manganem. Koncentrace železa obvykle převyšují koncentrace manganu. V povrchových vodách je standardní koncentrace v setinách až desetinách mg.l^{-1} . U většiny toků v ČR je méně než $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$. Ve vodách z rašenišť se pohybují koncentrace železa podstatně vyšší a dosahují hodnot až 1 mg.l^{-1} . Tyto vody jsou kyselé a obsahují huminové látky. V mořské vodě kolísá koncentrace železa asi od $0,01 \text{ mg.l}^{-1}$ až do $0,2 \text{ mg.l}^{-1}$. Stejně jako u arsenu i zde dochází u nádrží a jezer k vertikální stratifikaci železa. V období stagnace (letní a zimní období) se v hypolimniu hromadí rozpuštěné i nerozpuštěné formy železa v koncentraci někdy až desítek mg.l^{-1} . Oproti tomu v epilimniu mohou být zjištěny koncentrace pouze v setinách mg.l^{-1} . U dna dochází k redukčním pochodům za vzniku Fe^{II} . Během jarní a podzimní cirkulace vody v jezerech a nádržích nejsou koncentrace železa příliš rozdílné mezi dnem a hladinou, dochází zde k rozptylu po celém objemu vody a u povrchu se stykem s rozpuštěným kyslíkem oxiduje na Fe^{III} a poté hydrolyzuje. Vyloučený hydratovaný oxid železitý postupně sedimentuje, a tím dochází k úbytku železa po celé vertikále. Pokud jsou

u nádrže anoxické podmínky, dochází opět k redukci na Fe^{II} a celý koloběh se opakuje. [5,19]

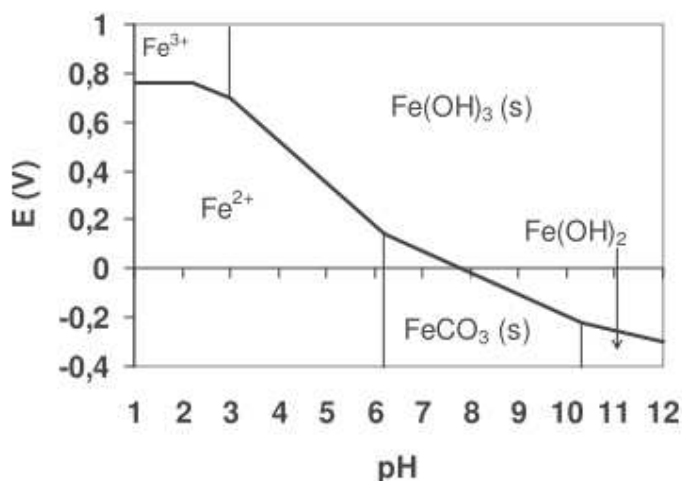
V podzemní vodě jsou koncentrace železa podstatně vyšší než v povrchových vodách. Pokud v podzemní vodě není obsažen kyslík, může se vyskytovat železo v rozpuštěné formě v oxidačním stupni II, tedy v železnatých sloučeninách a koncentrace zde dosahují i desítek mg.l^{-1} . U těchto vod stačí pouze protřepání a již se vylučuje sraženina hydratovaného oxidu železitého. Nedochozí k tomu u vod, které jsou silně kyselé např. z důlní činnosti nebo u vod, které obsahují organicky vázané formy Fe^{II} . K málo rozpustným sloučeninám patří hydroxid železnatý $\text{Fe}(\text{OH})_2$ a uhličitán železnatý FeCO_3 . Většina přírodních vod obsahuje hydrogenuhličitany. V tomto případě je rozpustnost Fe^{II} limitována především rozpustností FeCO_3 (obr. 3.20) a teprve v silně alkalické oblasti se uplatňuje srážení $\text{Fe}(\text{OH})_2$. Přibližně do hodnoty pH 10 až 11 se rozpustnost Fe^{II} s rostoucí koncentrací sumy všech forem oxidu uhličitého $[\text{c}_T(\text{CO}_2)]$ zmenšuje. Při pH obvyklém v přírodních vodách, tj. v rozsahu pH od 6,0 do 8,0, jsou koncentrace rozpustných forem železnatých sloučenin, které lze udržet v roztoku, poměrně vysoké – cca od 0,5 do 5,0 mg.l^{-1} Fe^{2+} . Železo v oxidačním stupni II může být oxidováno na železo v oxidačním stupni III a naopak dle rovnice:



Železo v oxidačním stupni III je nejstabilnější formou ve vodách, které obsahují rozpuštěný kyslík. Železité soli hydrolyzují za vzniku hydroxidu železitého podle rovnice:



Až 300 mg.l^{-1} obsahují důlní vody, které vyplňují prostory po těžbě hnědého uhlí. Největší koncentrace železa (až 1000 mg.l^{-1}) obsahují vody kyselé vulkanického původu, vody z ložisek kamencových a kyzových břidlic a sušických rud. Minerální vody, které obsahují více jak 10 mg.l^{-1} železa se nazývají železnaté. [5],[22]



Obr. 3.20 Diagram oblastí převažující existence systému Fe [22]

Z tohoto diagramu vyplývá význam pH pro průběh oxidačně-redukčních dějů. Čím je pH roztoku vyšší, tím je oxidace Fe^{II} na Fe^{III} snadnější.

3.3.3 Legislativní požadavky na obsah železa ve vodě

Na kvalitu vody s požadavkem limitující koncentraci železa se přihlíží dle Vyhlášky MZ 252/2004 Sb. Touto vyhláškou je stanovena mezní koncentrace železa ve vodě z vodovodu. Minerální, pramenité a kojenecké vody jsou posuzovány jako potraviny a je na ně uplatňován Zákon o potravinách, především Vyhláška MZ 275/2004 Sb. V tabulce 3.17 jsou uvedené mezní koncentrace železa ve vodách a jejich vývoj v ČR.

Tab. 3.17 Právní předpisy o koncentraci Fe v pitné vodě

Předpis	Platnost	Limitní obsah železa
ČSN 83 0611 Pitná voda	1974-1991	MH 0,3 mg/l
ČSN 75 7111 Pitná voda	1991-2000	MH 0,3 mg/l
Vyhláška MZ č. 376/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na pitnou vodu a rozsah a četnost její kontroly	2001-2004	MH 0,2 mg/l
Vyhláška MZ č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, ve znění pozdějších předpisů (vyhlášek č. 187/2005 Sb. a č. 293/2006 Sb.)	2004 – dosud	MH 0,2 mg/l
Předpis	Platnost	Limitní obsah železa

Směrnice rady 98/83/ES, o jakosti vody určené k lidské spotřebě	1998 - dosud	200 µg/l
Vyhláška MZ č. 275/2004 Sb., o požadavcích na jakost a zdravotní nezávadnost balených vod a o způsobu jejich úpravy	2004 – dosud	MH 0,3 mg/l

V případech, kdy vyšší hodnoty železa ve zdroji surové hodnoty jsou způsobeny geologickým prostředím, se hodnoty železa až do 0,50 mg.l⁻¹ považují za vyhovující požadavkům této vyhlášky za předpokladu, že nedochází k nežádoucímu ovlivnění organoleptických vlastností vody.

Ve vodárenských tocích nesmí koncentrace železa překročit 0,55 mg.l⁻¹ (NV 61/2003 Sb.) a v ostatních tocích 2,0 mg.l⁻¹. Ve vodě vhodné pro závlahu se udává jako přípustná koncentrace železa 10 mg.l⁻¹. Kanalizační řády koncentraci železa ve splaškové, jednotné a dešťové vodě nelimitují. Pro chov ryb je železo ve vodě závadné, jelikož se v žábách oxiduje a hydrolyzuje.[5]

3.3.4 Význam železa ve vodě

Železo se ve vodách vyskytuje běžně, zejména ve vodě podzemní. Jeho účinky nejsou zdravotně závadné. Překročení ze zdravotního hlediska je zcela neškodné. Způsobuje především technické potíže. Materiály, se kterými přichází do styku, zbarvuje žlutě až hnědě (textilie, potraviny, keramika). Železitá voda způsobuje rezavý zákal a sediment, který se může projevit až po delší době, zejména po ohřevu. Tím může docházet k ucpání vodovodního potrubí, zejména menších průměrů. V technologických vodách pro průmysl je též železo nevídané. V některých průmyslech jsou požadavky dokonce přísnější než pro vodu pitnou a to do 0,1 mg.l⁻¹. Jedná se o průmysly, kde železo může způsobit zbarvení materiálu či dokonce proděravění tkaniny.

Dalším významem železa ve vodě je ovlivnění organoleptických vlastností. Negativně ovlivňuje barvu, chuť a zákal. Pokud je koncentrace železa ve vodě vyšší jak 0,5 mg.l⁻¹, už je voda znatelně ovlivněna. Ve vodě těchto koncentrací dochází k nadměrnému rozvoji železitých bakterií, které ucpávají potrubí, a při jejich odumírání voda zapáchá.

Zabarvení stěn ve zdroji v Luhách je znázorněné v kapitole 2 (obr. 2.7). Obrázek níže (obr. 3.21) zobrazuje povrchovou vodu silně kontaminovanou železem.



Obr. 3.21 Železitá voda

3.3.5 Železo ve zdrojích vody pro ÚV Mokošín

Vzorky surové vody ze zdrojů pro úpravnu vody byly odebírány vždy společně pro 2 vrtů, jelikož už v čerpací stanici dochází k míšení vody. Jedná se tedy o míšený vzorek z vrtů Jankovice a Brloh (Ja-6 + V-3) a dále Luhy (Ch-5 + CH-4a). Koncentrace železa ve zdrojích byly zpracovány za 5 let, v období 2006 – 2010.

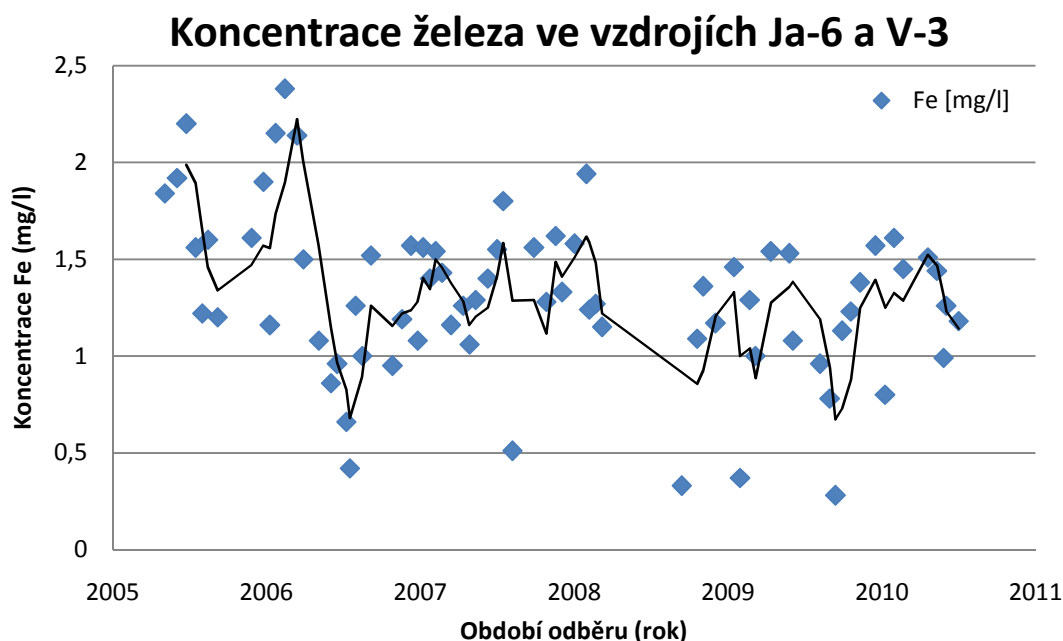
V oblasti zdrojů vody pro úpravnu vody se nacházejí ložisková tělesa pyritových a pyrit manganových rud. Po mineralogické stránce je ložisko charakterizováno velmi pestrými asociacemi nerostů. Hojně jsou zde zastoupeny karbonáty, zejména mangan a železo.

Celkem bylo provedeno 156 laboratorních měření. Z toho 78 ze společného vrtu Jankovice a Brloh a 78 vzorků z vrtů v Luhách. Což vychází zhruba 1,3 vzorků měsíčně. Vzorky nebyly odebírány v pravidelných cyklech. Ale ve většině případů byly odebrány alespoň jednou za měsíc. V tabulce 3.18 jsou uvedené průměrné koncentrace železa ve zdrojích. Dále v ní jsou uvedeny hodnoty železa na úpravně, kde dochází ke smíchání všech vrtů. Tabulka je pouze informativní a uvedené koncentrace jsou průměry za každý rok. Podrobné výsledky jednotlivých měření jsou uvedeny v tabulkách v příloze 14.

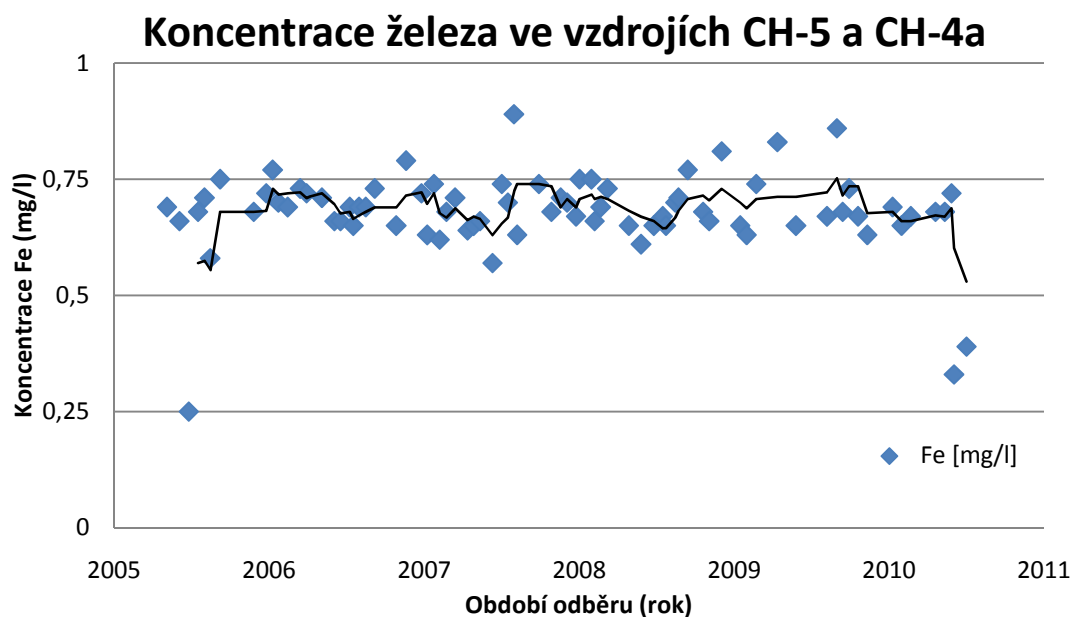
Tab. 3.18 Průměrné roční koncentrace Fe

Rok odběru	V-3 + Ja-6	CH-5 + CH-4a	ÚV Mokošín v RN	
	Fe [mg.l ⁻¹]	Fe [mg.l ⁻¹]	Fe [mg.l ⁻¹]	pH
2006	1,7	0,67	1,12	7,03
2007	1,28	0,68	0,95	7,00
2008	1,4	0,7	0,94	6,98
2009	1,12	0,7	0,96	7,00
2010	1,17	0,65	0,96	6,98

Na níže uvedených grafech jsou znázorněny hodnoty naměřených koncentrací pro vrty v Jankovicích a Brlohu (Ja-6 + V-3) a dále pro vrty v Luhách (CH-5 + CH-4a). Zdrojová data jsou uvedena v příloze 14 v tabulkách dle roku odebrání a měření vzorků. Výsledky jsou proloženy spojnici trendu klouzavého průměru.



Obr. 3.22 Koncentrace železa ve zdrojích Ja-6 a V-3



Obr. 3.23 Koncentrace železa ve zdrojích CH-5 a CH-4a

Z grafů na obr. 3.22 a obr. 3.23 jsou patrné rozdíly koncentrací železa. V grafu 3.22 jsou kolísavé hodnoty převážně v mezích 1 až 1,5 mg.l⁻¹, zatímco v grafu 3.23 jsou hodnoty převážně pod hranicí 0,75 mg.l⁻¹. Z hlediska koncentrace železa jsou vody z vrtů CH-5 a CH-4a v Luhách kvalitnější než voda v Brlohu a Jankovicích.

3.3.6 Odstranění železa na ÚV Mokošín

Úprava vody s obsahem železa spočívá ve dvou fázích. První fáze je oxidace (Fe^{II}) na vyšší formu (mocenství). Toho lze dosáhnout působením oxidačními látkami, jako je molekulární kyslík, chlor, ozon, peroxid vodíku, manganistan draselný apod. Takto vícemocné formy vytvářejí vločkovitou suspenzi, která je z vody separovatelná jednoduchou filtrací. Druhá fáze úpravy spočívá v separaci vysrážené vločkovité suspenze na pískových filtrech.

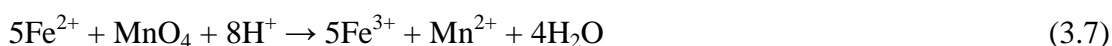
V ÚV Mokošín se jedná o klasickou separaci na jednom separačním stupni. Dochází zde ke smíšení veškeré vody ze zdrojů. Děje se tak v rozdělovací nádrži, která je vybavena ostrohrannými přelivnými hranami. Při přepadu dochází k mírnému provzdušnění vody. Do nádrže je dávkován manganistan draselný KMnO₄. Jedná se o silné oxidační činidlo. Tím dochází převedení Fe^{II} na Fe^{III}. Po vysrážení železa na nerozpuštěný roztok jsou vločkovité suspenze separovány na pískových filtrech.

Oxidace manganistanem draselným

Oxidace manganistanem draselným patří do kategorie oxidace chemickým způsobem.

Oxidace železa probíhá dle těchto rovnic [20]:

a) oxidační reakce



b) hydrolytická reakce



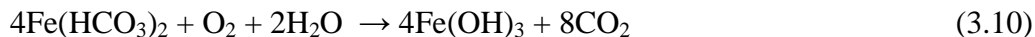
Pro oxidaci 1 mg Fe je třeba 0,567 mg KMnO₄

Dávka KMnO₄ je pouze orientační. Záleží to na přítomnosti organických látek. Pokud ve vodě jsou organické látky, je dávka manganistanu draselného vyšší. Železo se také částečně oxiduje přepadem z rozdělovací nádrže.

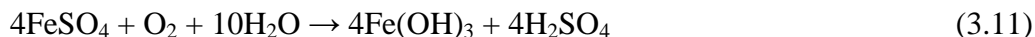
Oxidace vzdušným kyslíkem způsobem mechanického provzdušňování

Železo se vyskytuje jako dvoumocná sloučenina hydrogenuhlíkatů nebo síranů. Při aeraci se tyto sloučeniny oxidují a uvolňuje se ekvivalentní množství volného oxidu uhličitého a případně jiných plynů jako je sirovodík, metan a další.

Oxidační reakce pro hydrogenuhlíkaty železa [20]:



Oxidační reakce pro sírany železa:



Pro oxidaci 1 mg Fe^{2+} je teoretická spotřeba 0,143 mg O_2 .

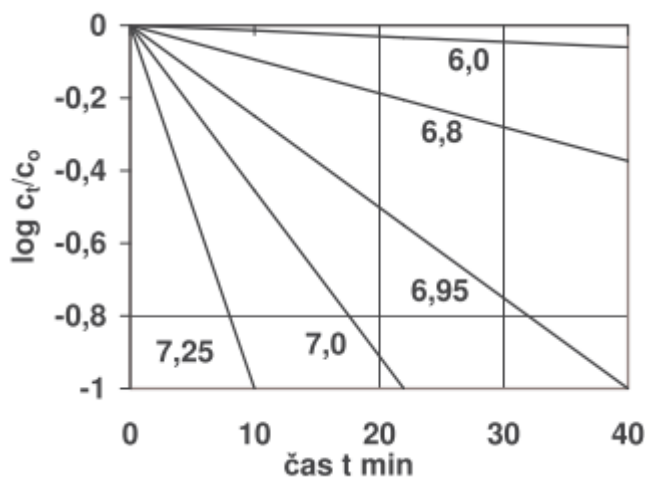
Proces oxidace při odželezování v tomto případě probíhá velmi rychle, lze ji vyjádřit pro pH v rozmezí 5 až 7,5 diferenciálním vztahem 3.12. Avšak pH by nemělo klesat pod hranici 7. Na obr. 3.24 je znázorněn časový průběh oxidace Fe^{II} , je zřejmá značná závislost rychlosti oxidace na pH. Se zvyšující hodnotou pH se výrazně zvyšuje rychlost oxidace.

$$-d c(\text{Fe}^{2+}) / dt = k \cdot c(\text{Fe}^{\text{II}}) \cdot [c(\text{OH}^-)]^2 \cdot p\text{O}_2 \quad (3.12)$$

Kde: t Čas [s]

$p\text{O}_2$ parciální tlak kyslíku [kPa]

k konstanta.



Obr. 3.24 Časový průběh oxidace vzdušným kyslíkem v závislosti na pH [22]

Mezi vodárenské zařízení k oxidaci vzdušným kyslíkem patří vodní skok, kaskáda, provzdušňovací věže, zařízení typu Inka, Bubla nebo turbína.

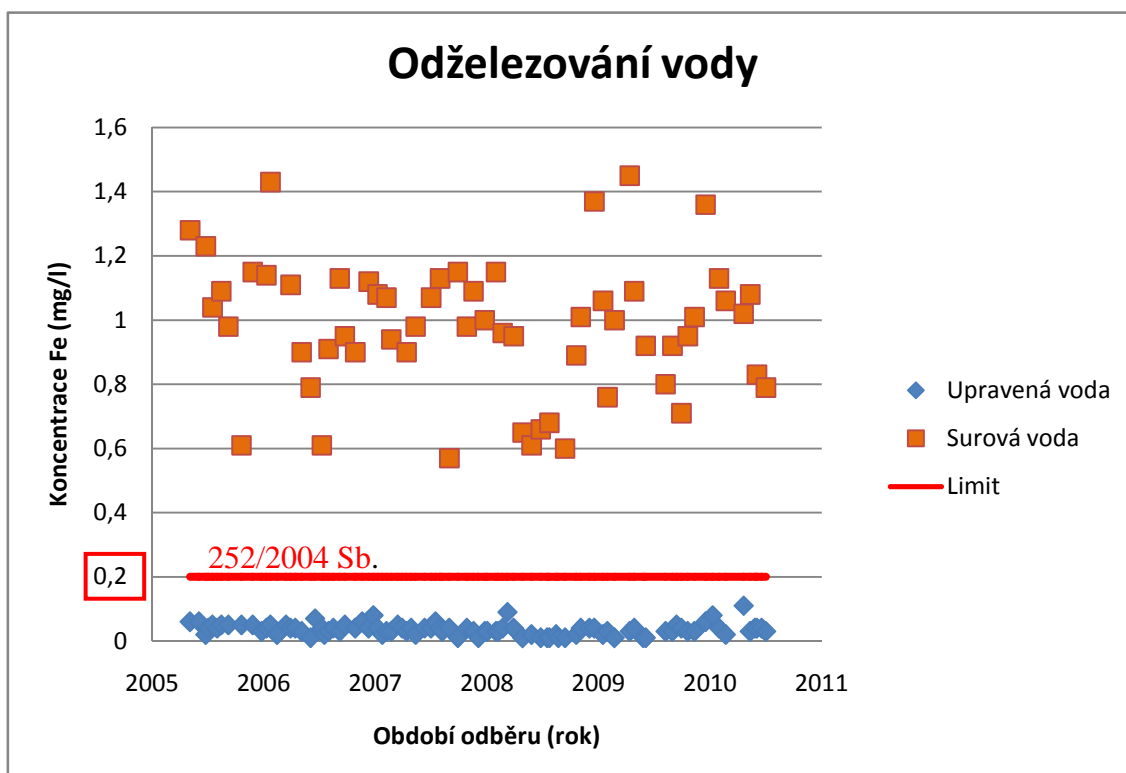
Naměřené hodnoty koncentrace železa na ÚV Mokošín

V tabulce 3.19 jsou znázorněné průměrné hodnoty naměřené na úpravně vody Mokošín. Surová voda byla měřena v rozdělovací nádrži, kde dochází k mísení veškeré surové vody. Upravená voda byla měřena na výstupu z úpravní vody. V příloze 15 jsou udány veškeré výsledky měření koncentrace železa v surové i upravené vodě za sledované období. Celkem bylo provedeno 91 laboratorních měření upravené vody. Což vychází cca 1,52 krát za měsíc. Voda v rozdělovací nádrži byla kontrolována jednou měsíčně.

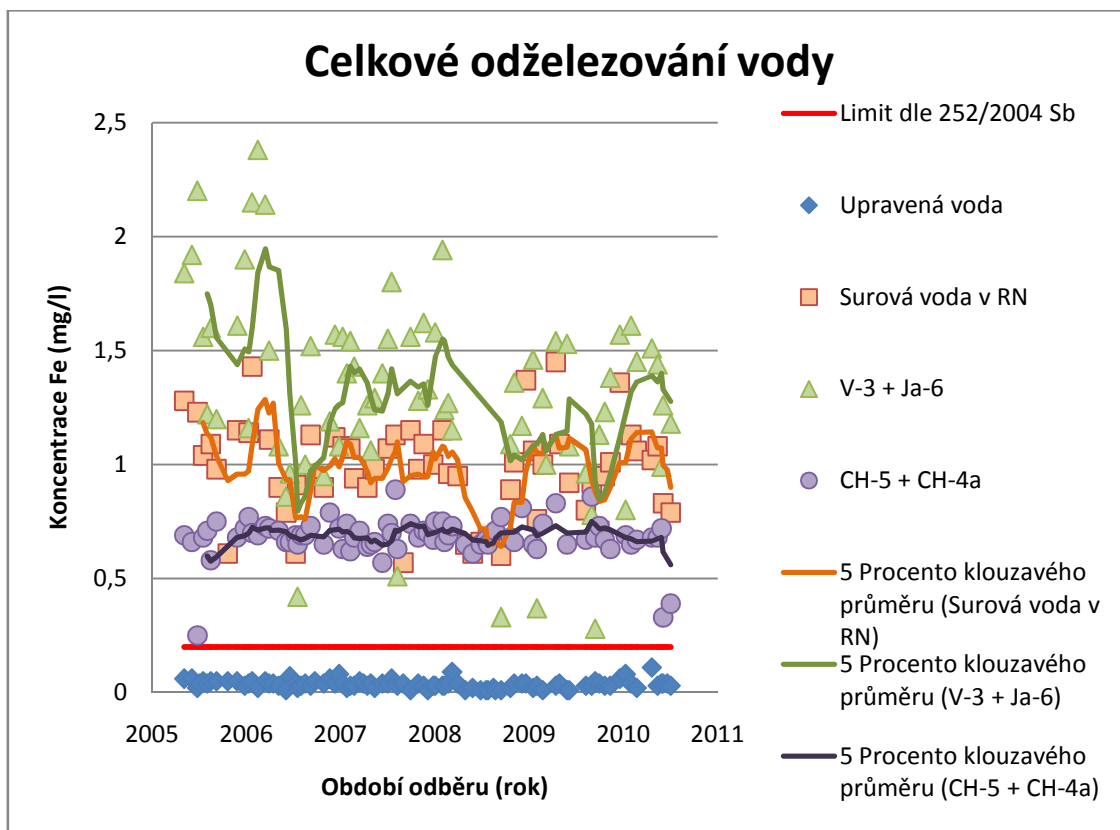
Tab. 3.19 Hodnoty koncentrace Fe na ÚV Mokošín

Rok odběru	Surová v RN	Upravená	Limit dle MZ 252/2004
	Fe [mg.l ⁻¹]	Fe [mg.l ⁻¹]	Fe [mg.l ⁻¹]
2006	1,12	0,043	0,2
2007	0,95	0,039	0,2
2008	0,94	0,035	0,2
2009	0,96	0,021	0,2
2010	0,96	0,044	0,2

Na obr. 3.25 je graf, kde jsou znázorněné koncentrace železa naměřené v rozdělovací nádrži a dále hodnoty koncentrací železa upravené vody. Na obr. 3.26 je porovnání hodnot koncentrací surové vody z jednotlivých přivaděčů na úpravnu, dále hodnoty železa po smíchání v rozdělovací nádrži a hodnoty železa v upravené vodě.



Obr. 3.25 Odželezování vody na ÚV Mokošín



Obr. 3.26 Celkové odželezování vody na ÚV Mokošín

Z obou grafů je patrná správná úprava vody ohledně odželezování. V žádném vzorku upravené vody nedošlo k překročení dané hodnoty koncentrace železa v pitné vodě $0,2 \text{ mg.l}^{-1}$.

3.3.7 Ostatní způsoby odstranění železa z vody

Odstranění železa z vody, která slouží pro pitné účely, je založeno na oxidaci železa na vyšší formu a následné filtraci. Významným činidlem při odstraňování železa mohou být železité bakterie (např. *Galionella*).

Ostatní způsoby oxidace pro odstraňování železa z vody jsou:

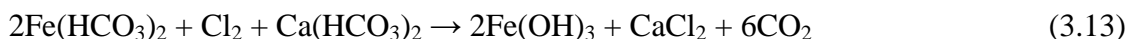
- oxidace chlorem
- oxidace ozonem

Mezi neoxidační metody, které se ve vodárenství téměř nepoužívají, patří odželezování biologickým způsobem a metoda iontové výměny.

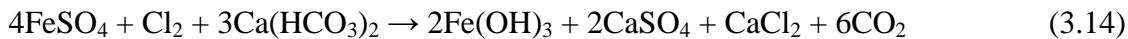
Odželezování oxidací chlorem

Tento způsob patří do kategorie odželezování chemickým způsobem.

Oxidační reakce pro hydrogenuhličitany železa [20]:



Oxidační reakce pro sírany železa:

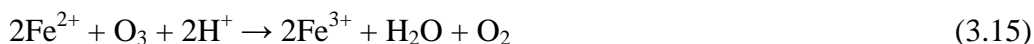


Pro oxidaci 1 mg Fe^{2+} je teoretická spotřeba 0,647 mg Cl_2 . Oxidace probíhá velmi rychle a je účinná již od $\text{pH}=5$. Se zvyšováním pH se rychlost oxidace zvyšuje.

Odželezování oxidací ozonem

Tento způsob patří do kategorie odželezování chemickým způsobem. Použití ozonu je dáno vazbou železa na organické komplexy, kterými jsou například huminové látky. Tyto látky působí v procesu oxidace jako ochranné a brání vylučování vloček $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Oxidace železa probíhá dle rovnice [20]:



Pro oxidace 1 mg Fe^{2+} je třeba 0,43 mg O_3

Rychlost reakce je závislá na kvalitě směšování. Následné zdržení nadávkované vody v kontaktní nádrži zabezpečuje dokonalou reakci a využití ozonu pro chemickou reakci. Reakční a kontaktní nádrž musí být uzavřené a nemohou mít přímý kontakt s atmosférou s ohledem na nebezpečí kontaktu obsluhy s tímto agresivním plynem. Přebytečný ozon se odvádí do destrukturu ozonu, kde se likviduje.[20]

Odželezování na iontoměničích

Tato metoda se ve vodárenské technologii pro úpravu surové vody na pitnou téměř nepoužívá. Odstraňování železa na katexu se děje v sodíkovém nebo vápnickovém cyklu. Hmota na výměnu iontů je pevná zrnitá látka z umělé pryskyřice, ve které jsou obsaženy aktivní skupiny iontů. Proto má umělá pryskyřice schopnost vyměňovat anionty nebo kationty. Tyto výměny mohou probíhat jen mezi ionty stejného náboje. Kationty jsou kladné a anionty záporně nabitě částice. Při změkčování (výměna kationtů) bude probíhat např. výměna s ionty sodíku (Na^+) a chloridu sodného (NaCl). Pro určení změkčovacího zařízení je určující celková tvrdost, kterou tvoří suma tvrdosti karbonátů a nekarbonátů.[23]

3.4 MANGAN

Mangan je světle šedý, paramagnetický, tvrdý kov. Patří mezi přechodové prvky a je velmi elektropozitivní. Vyskytuje se ve třech stabilních modifikacích, které se mění v závislosti na teplotě. Mangan je důležitý prvek v organismu, který zabraňuje změnám metabolismu. Mangan existuje v oxidačním stupni II, III, IV, V, VI a VII. V nižších oxidačních stupních se vyskytuje jako kov, ve vyšších tvoří axoanionty. V zemské kůře převládá v oxidačním stupni IV, ve vodách v oxidačním stupni II.

3.4.1 Geneze

Mangan téměř vždy doprovází železné rudy. V přírodě se objevuje manganová ruda zejména jako burel či pyroluzit MnO_2 , hausmanit Mn_3O_4 , manganit $[\text{MnO}(\text{OH})]$, dialogit MnCO_3 a braunit Mn_2O_3 . Do vod může přecházet také z půd a sedimentů, tento jev se vyskytuje zřídka.

Mezi antropogenní zdroje manganu patří průmyslové odpadní vody. Jedná se o provozy zpracování rud, metalurgické závody a chemické provozy, kde se oxiduje manganistanem draselným.

3.4.2 Výskyt manganu ve vodách

Mangan se v hydrosféře vyskytuje převážně v podzemní vodě, a to jako hydratovaný jednoduchý kation. Prevážně je v oxidačním stupni II, ale je možné ho nalézt i ve stupni III a IV. Může být v rozpuštěné i nerozpuštěné formě. V technologii vody může mít význam i mangan v oxidačním stupni VII. Mn^{II} je nejstabilnější formou výskytu v redukčních podmínkách za nepřítomnosti rozpuštěného kyslíku a jiných oxidačních činidel. Koncentrace rozpuštěného manganu v přírodních vodách v anoxických podmínkách je limitována rozpustností uhličitanu, hydroxidu nebo sulfidu. Ve většině přírodních vod je rovnovážná koncentrace rozpuštěného manganu dána rozpustností MnCO_3 , který patří mezi málo rozpustné sloučeniny podobně jako $\text{Mn}(\text{OH})_2$. Za přítomnosti sulfanu může být rozpustnost Mn^{II} v alkalickém prostředí limitována rozpustností MnS .

Na rozdíl od železa se Mn^{II} může vyskytovat ve vyšších koncentracích i v povrchových vodách, avšak jelikož tyto vody obsahují rozpuštěný kyslík, je mangan velice nestabilní. V neutrálním prostředí jsou rozpuštěné formy Mn^{II} stabilnější než Fe^{II} , což je důležité pro úpravu surové vody na pitnou. Při oxidaci rozpuštěným kyslíkem dochází k snadné oxidaci železa, nikoli manganu. Kinetiku oxidace Mn^{II} rozpuštěným kyslíkem lze vystihnout vztahem 3.16. Rychlost oxidace je znázorněna na obrázku 3.27. Jedná se o autokatalytickou reakci, která zpočátku probíhá pomalu, ale její rychlost stoupá s rostoucí koncentrací produktů oxidace (pro jednoduchost je produkt oxidace označen jako MnO_2). Není-li přítomen MnO_2 , probíhá oxidace teprve při $\text{pH} > 9$. Vytvoří-li se dostatečné množství produktů oxidace, pak probíhá oxidace přibližně stejně rychle jako

v případě železa, pouze s tím rozdílem, že pro dosažení stejné rychlosti oxidace manganu je zapotřebí vyšší hodnoty pH. Proto se při odstraňování manganu z vody na tzv. manganových filtrech musí reaktor nejprve zapracovat, tj. musí se vyčkat, až se vytvoří vrstva vyšších hydratovaných oxidů manganu na nosiči (obvykle písku). Z uvedeného je patrné, že na rozdíl od Fe^{II} je Mn^{II} odolnější vůči oxidaci, ale naopak Mn^{III} a Mn^{IV} náchylnější k redukci než Fe^{III} a Fe^{IV} . K redukci Mn^{III} a Mn^{IV} dochází v bezkyslíkatém anaerobním prostředí, např. v hnojícím listí, bahně řek a nádrží.[5],[24]

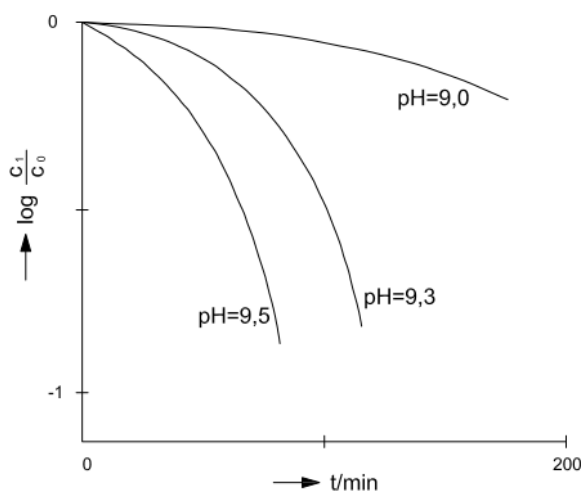
$$-\frac{dc(\text{Mn}^{\text{II}})}{dt} = k_0 c(\text{Mn}^{\text{II}}) + k_1 c(\text{Mn}^{\text{II}}) c(\text{MnO}_2) c^2(\text{OH}^-) p\text{O}_2 \quad (3.16)$$

Kde: k_1 a k_2 konstanty

c molární koncentrace příslušných látek [$\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$]

$p\text{O}_2$ parciální tlak kyslíku [kPa]

Ze vztahu 3.16 vyplývá, že rychlost oxidace Mn^{II} nezávisí pouze na hodnotě pH, ale také na parciálním tlaku kyslíku, který je v normálních podmínkách přibližně konstantní, dále na koncentraci manganatých sloučenin a hydratovaného MnO_2 .



Na ose y je poměr látkových koncentrací Mn^{II} v čase t a v čase $t=0$

Obr. 3.27 Závislost rychlosti oxidace Mn^{II} na hodnotě pH [5]

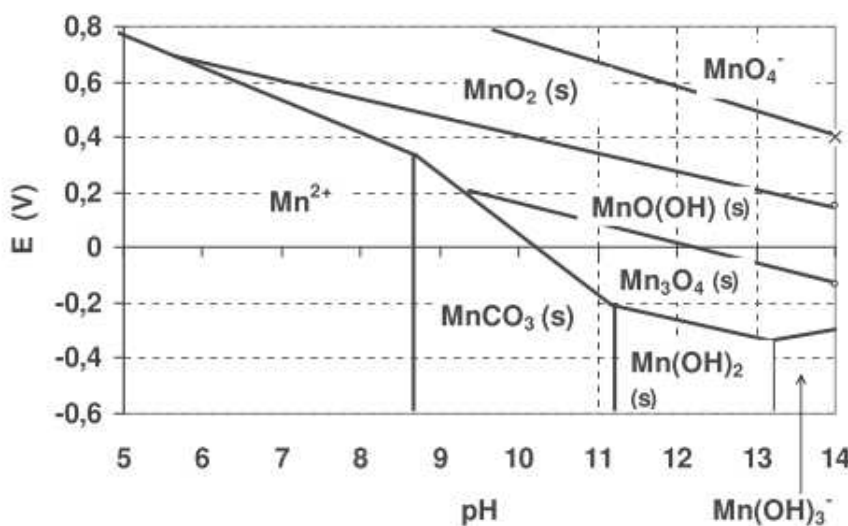
Ve vodných roztocích, obsahující rozpuštěný kyslík nebo jinou oxidující látku, jsou manganatá sloučeniny při dostatečně vysokém pH nestálé a oxidují se na sloučeniny oxidačního stupně III nebo IV.



Manganatá a manganičitá sloučeniny hydrolyzují dle rovnic:



Produkty hydrolyzy jsou hydratované oxidy $\text{MnO}(\text{OH})$, Mn_3O_4 a MnO_2 . Složení sraženiny nerozpustných sloučenin manganu, která vzniká oxidací Mn^{II} není zpravidla jednotné a závisí na pH, teplotě a oxidačně-redukčním potenciálu prostředí (E). Oblasti převažující existence manganu v závislosti na pH a E jsou uvedeny v diagramu na obr. 3.28.[24]



Obr. 3.28 Diagram převažující existence Mn [24]

Mangan obvykle doprovází v přírodě železo, avšak bývá obvykle v menších koncentracích. Zcela výjimečně existují i podzemní vody s obráceným poměrem (např. jeden ze zdrojů kyselky IDA obsahuje $0,34 \text{ mg.l}^{-1}$ Mn a pouze $0,1 \text{ mg.l}^{-1}$ Fe, obdobně je tomu u minerální vody Šaratica).

V povrchových vodách jsou obvykle menší koncentrace než u vod podzemních. Mangan v povrchových vodách se pohybuje do $0,1 \text{ mg.l}^{-1}$. V některých obdobích se však může tato koncentrace podstatně navýšit. Např. mangan akumulovaný v rostlinách se uvolňuje při jejich hnití a je vyplavován vodou, v níž pak může dosáhnout koncentrací i několika mg.l^{-1} . V anoxickém hypolimniu nádrží a jezer se mohou koncentrace manganu pohybovat v rozmezí 1 až 2 mg.l^{-1} , záleží to na oxidačně-redukčních procesech, srážení a rozpouštění tuhých fází. Tyto jevy jsou příčinou vertikální stratifikace manganu v nádržích a jezerech. V období stagnace (léto a zima) může být mangan uvolňován v anoxických až anaerobních podmínkách. V období podzimní a jarní cirkulace se mangan rozptyluje po celém objemu nádrže a zde právě dochází k nárůstu koncentrace manganu v povrchové vodě. V mořské vodě se nacházejí koncentrace manganu obvykle v rozmezí 2 až $4 \text{ } \mu\text{g.l}^{-1}$, což jsou koncentrace asi desetkrát menší než u železa.

V podzemní vodě bývá mangan obsažen ve vyšších koncentracích než v klasických sladkovodních povrchových vodách. Koncentrace manganu se zde pohybuje okolo $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$. Příkladem velkých koncentrací manganu v podzemních vodách mohou být zdroje pitné vody v Tlumačově (asi $2,3 \text{ mg.l}^{-1}$), v Novém Bohumíně a v Mirošově (asi 2 mg.l^{-1}). Výjimkou nejsou ani minerální vody, taktéž nejsou na mangan nijak bohaté. U minerálních vod se pohybují koncentrace manganu v rozmezí $0,07$ až $0,3 \text{ mg.l}^{-1}$. Výjimečné jsou prameny Jozef a Anton v lokalitě Korytnica, nebo pramen Bystrica u Sliache a dále plněné vody Excelsior, Ondrášovka a Štěpánka, zde jsou koncentrace manganu v rozmezí 1 až 2 mg.l^{-1} .

Mimořádně vysoké koncentrace manganu lze nalézt v kyselých vodách z okolí rudných nalezišť. Mohou dosahovat až 40 mg.l^{-1} . Přes 10 mg.l^{-1} manganu obsahují vulkanické vody.

3.4.3 Legislativní požadavky na obsah manganu ve vodě

Na kvalitu vody s požadavkem limitující koncentraci manganu se přihlíží dle Vyhlášky MZ 252/2004 Sb. Touto vyhláškou je stanovena mezní koncentrace manganu ve vodě z vodovodu. Minerální, pramenité a kojenecké vody jsou posuzovány jako potraviny a je na ně uplatňován Zákon o potravinách, především Vyhláška MZ 275/2004 Sb. V tabulce 3.20 jsou uvedené mezní koncentrace manganu ve vodách a jejich vývoj v ČR.

Tab. 3.20 Právní předpisy o koncentraci Mn v pitné vodě

Předpis	Platnost	Limitní obsah manganu
ČSN 83 0611 Pitná voda	1974-1991	MH $0,1 \text{ mg/l}$
ČSN 75 7111 Pitná voda	1991-2000	MH $0,1 \text{ mg/l}$
Vyhláška MZ č. 376/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na pitnou vodu a rozsah a četnost její kontroly	2001-2004	MH $0,05 \text{ mg/l}$ NMH $0,5 \text{ mg/l}$
Vyhláška MZ č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, ve znění pozdějších předpisů (vyhlášek č. 187/2005 Sb. a č. 293/2006 Sb.)	2004 – dosud	MH $0,05 \text{ mg/l}$
Předpis	Platnost	Limitní obsah manganu
Směrnice rady 98/83/ES, o jakosti vody určené k lidské spotřebě	1998 - dosud	$50 \text{ } \mu\text{g/l}$

Vyhláška MZ č. 275/2004 Sb., o požadavcích na jakost a zdravotní nezávadnost balených vod a o způsobu jejich úpravy	2004 – dosud	NMH 0,05 mg/l – kojenecká voda NMH 0,1 mg/l – pramenitá voda
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------	-----------------------------------------------------------------

V případech, kdy vyšší hodnoty manganu ve zdroji surové hodnoty jsou způsobeny geologickým prostředím, se hodnoty manganu až do 0,20 mg.l⁻¹ považují za vyhovující požadavkům této vyhlášky za předpokladu, že nedochází k nežádoucímu ovlivnění organoleptických vlastností vody.

Mezní hodnota koncentrace manganu pro vodárenské účely v povrchové vodě není vyhláškou limitována. Ve vodě vhodné pro závlahu se udává jako přípustná koncentrace manganu 3 mg.l⁻¹ (dle ČSN 75 7143). Kanalizační řády koncentraci manganu ve splaškové, jednotné a dešťové vodě nelimitují.[5]

3.4.4 Význam manganu ve vodě

Mangan se ve vodách vyskytuje běžně, zejména ve vodě podzemní. Jeho účinky nejsou zdravotně závadné. Překročení ze zdravotního hlediska je zcela neškodné. Způsobuje především technické potíže. Obecně platí, že mangan je škodlivější než železo. Materiály, se kterými přichází do styku, mohou nerozpuštěné vyšší oxidační formy manganu zbarvovat do hněda. Proto v některých průmyslech jsou přísně limitovány koncentrace manganu. Jedná se o provozní vody v potravinářském, textilním a papírenském průmyslu, dále v prádelnách a škrobárnách.

Nadměrný rozvoj manganových bakterií může být příčinou zarůstání vodovodního potrubí jejich biomasou. Proto je také limit pro pitnou vodu z vodovodu přísnější než limit v balených vodách (pouze pro kojeneckou vodu je limit stejný jako u vodovodu).

Dalším významem manganu ve vodě je ovlivnění organoleptických vlastností, a to více než železo. Pokud je koncentrace manganu ve vodě vyšší jak 0,3 mg.l⁻¹, už je voda znatelně chuťově ovlivněna.

3.4.5 Mangan ve zdrojích vody pro ÚV Mokošín

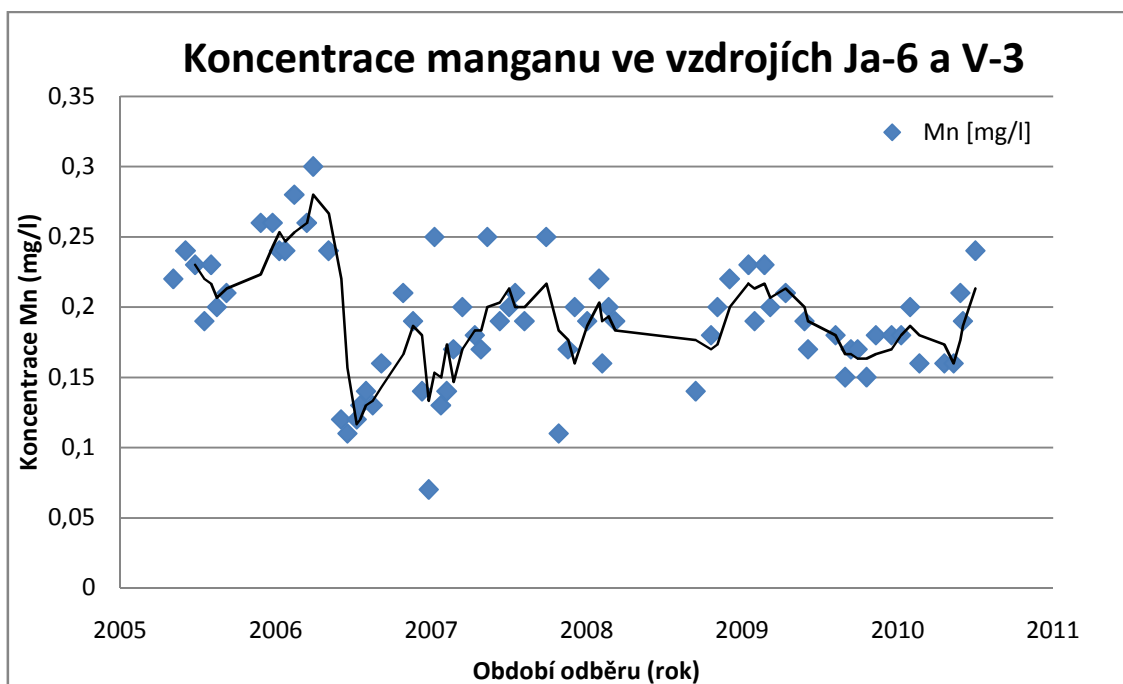
Koncentrace manganu byly měřeny na stejných vzorcích vody jako železo. Jedná se tedy o míšený vzorek ze zdrojů Jankovice a Brloh (Ja-6 + V-3) a dále Luhy (Ch-5 + CH-4a). Koncentrace manganu ve zdrojích byly zpracovány za 5 let, v období let 2006 – 2010.

V tabulce 3.21 jsou uvedené průměrné koncentrace manganu ve zdrojích. Dále v ní jsou uvedeny hodnoty manganu na úpravně, kde dochází ke smíchání všech vrtů. Tabulka je pouze informativní a uvedené koncentrace jsou průměry za každý rok. Podrobné výsledky jednotlivých měření jsou uvedeny v tabulkách v příloze 16.

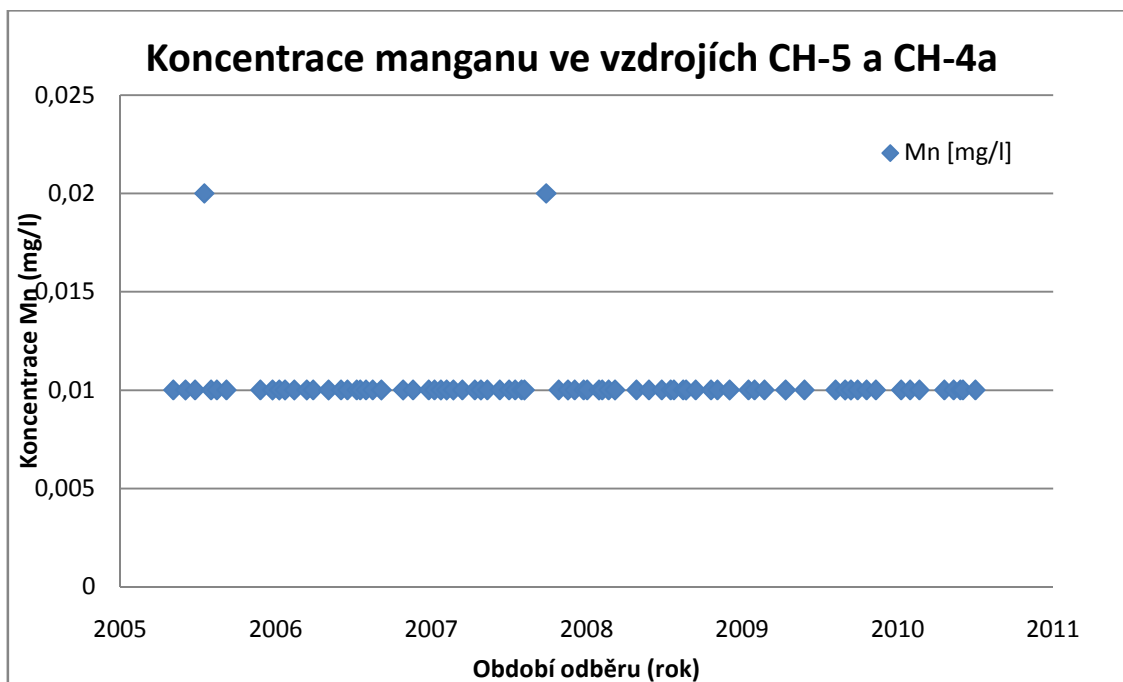
Tab. 3.21 Průměrné roční koncentrace Mn

Rok odběru	V-3 + Ja-6	CH-5 + CH-4a	ÚV Mokošín v RN
	Mn [mg.l ⁻¹]	Mn [mg.l ⁻¹]	Mn [mg.l ⁻¹]
2006	0,24	0,01	0,19
2007	0,16	0,01	0,09
2008	0,19	0,01	0,08
2009	0,2	0,01	0,1
2010	0,18	0,01	0,1

Na níže uvedených grafech jsou znázorněny hodnoty naměřených koncentrací pro vrtů v Jankovicích a Brlohu (Ja-6 + V-3) a dále pro vrtů v Luhách (CH-5 + CH-4a). Zdrojová data jsou uvedena v příloze 16 v tabulkách dle roku odebrání a měření vzorků. Výsledky jsou proloženy spojnici trendu klouzavého průměru.



Obr. 3.29 Koncentrace manganu ve zdrojích Ja-6 a V-3



Obr. 3.30 Koncentrace manganu ve zdrojích CH-5 a CH-4a

Z grafů na obr. 3.29 a obr. 3.30 jsou patrné rozdíly koncentrací železa. V grafu 3.29 jsou kolísavé hodnoty převážně v mezích 0,15 až 0,20 mg.l⁻¹, zatímco v grafu 3.30 jsou hodnoty převážně na hranici 0,01 mg.l⁻¹. Z hlediska koncentrace železa jsou vody z vrtů CH-5 a CH-4a v Luhách kvalitnější než voda v Brlohu a Jankovicích. Zdroje v Luhách splňují už před úpravou mezní hodnotu manganu.

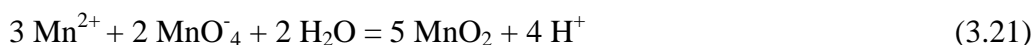
3.4.6 Odstranění manganu na ÚV Mokošín

Úprava vody s obsahem manganu spočívá stejně jako železo ve dvou fázích (oxidace a následná filtrace). Mangan je separovatelný při kontaktní oxidaci na zrnitém materiálu za přítomnosti katalyzátoru.

Na ÚV Mokošín dochází k oxidaci manganu pomocí oxidovadla manganistanu draselného. Přepadem surové vody přes ostrohrannou přelivnou plochu z rozdělovací nádrže nedochází k oxidaci manganu, jelikož proces oxidace není tak rychlý jako u oxidace železa.

Oxidace manganistanem draselným

Manganistan draselný je dávkován před filtry do rozdělovací nádrže, slouží jako silné oxidační činidlo, které reaguje dle rovnice:



Tato reakce probíhá poměrně rychle i v neutrální oblasti pH. Jiným způsobem urychleného zapracování filtru je přidavek písku již zapracovaného v množství cca 20 až 30 % z celkového objemu.[24]

Pro oxidaci 1 mg Mn je třeba 1,92 mg KMnO_4 .

Oxidační reakce dobíhá i přímo na filtrech, kde se tvoří preparační katalytická vrstva velmi rychle a bývá homogenní a silná. Výhodou je, že při výpadku dávkování manganistanu draselného jsou filtry stále schopny odstraňovat mangan ze surové vody, jelikož si filtry uchovávají schopnost oxidovat a separovat mangan, aniž by bylo do náplně dávkováno jiné oxidační činidlo. Doba uchování schopnosti oxidace je závislá na koncentraci manganu v surové vodě, ale je zpravidla mnohonásobně vyšší, než je doba zdržení vody ve filtrační náplni.

Naměřené hodnoty koncentrace manganu na ÚV Mokošín

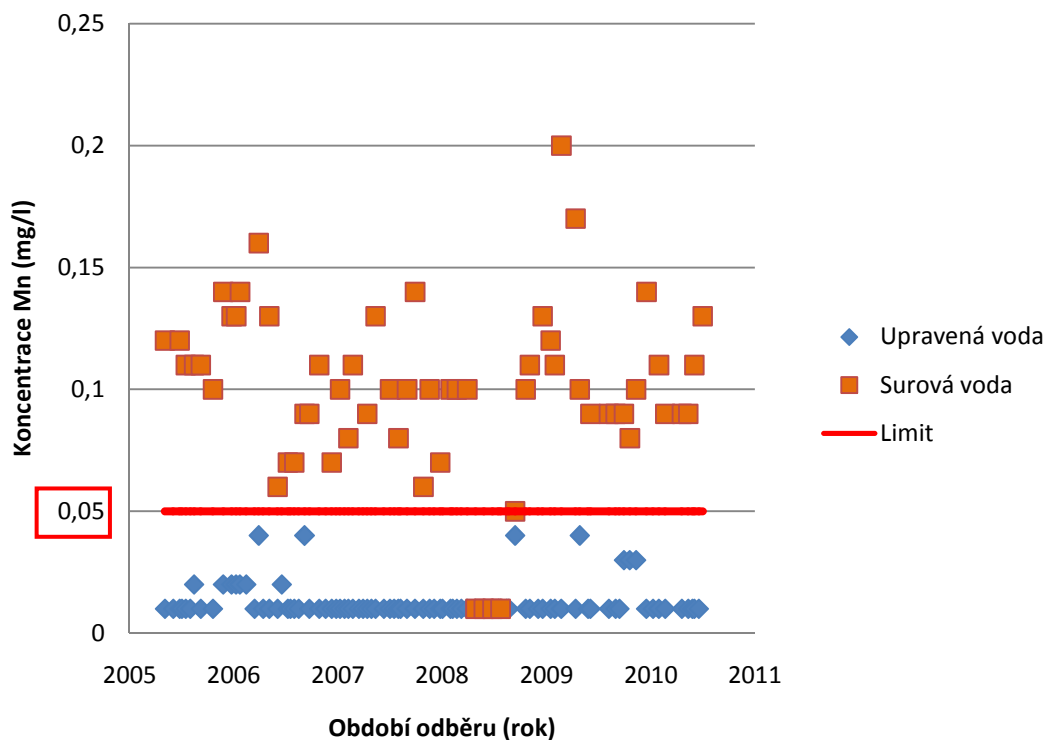
V tabulce 3.22 jsou znázorněny průměrné hodnoty naměřené na úpravě vody Mokošín. Měření manganu v surové i upravené vodě probíhalo společně na stejných vzorcích jako u železa. V příloze 17 jsou udány veškeré výsledky měření koncentrace železa v surové i upravené vodě za sledované období. Celkem bylo provedeno 91 laboratorních měření upravené vody. Což vychází cca 1,52 krát za měsíc. Voda v rozdělovací nádrži byla kontrolována jednou měsíčně.

Tab. 3.22 Hodnoty koncentrace Mn na ÚV Mokošín

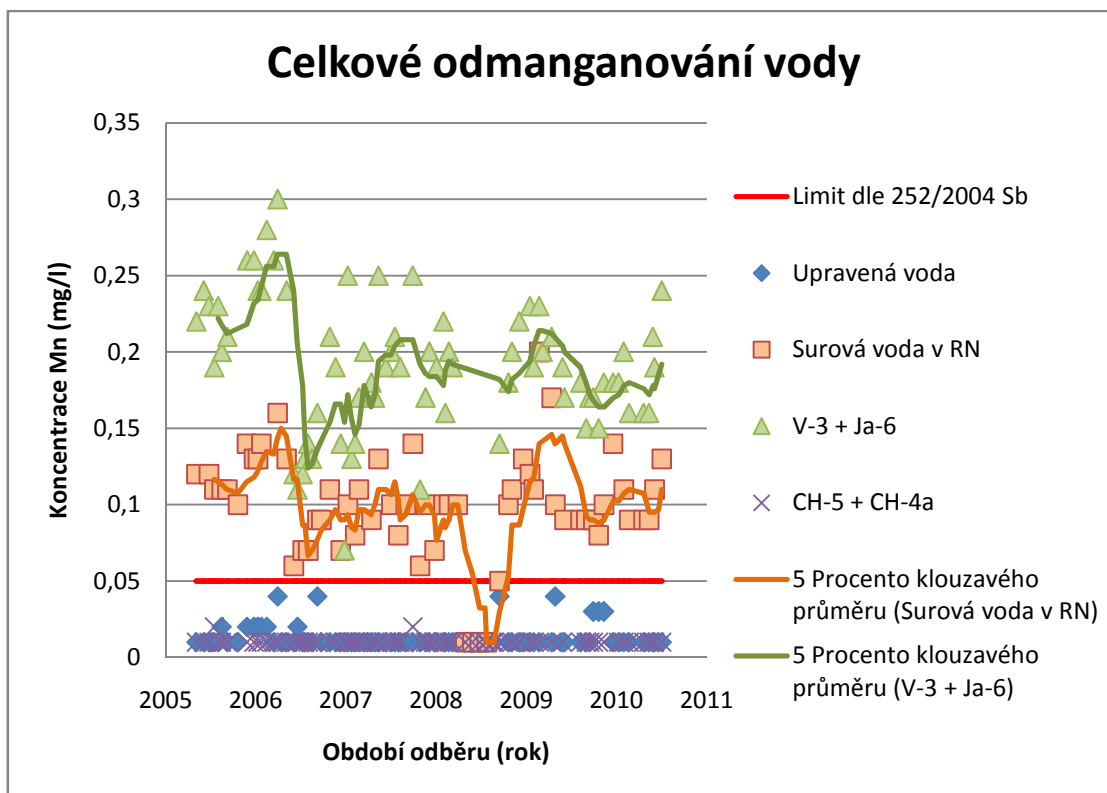
Rok odběru	Surová v RN	Upravená	Limit dle MZ 252/2004
	Mn [mg.l^{-1}]	Mn [mg.l^{-1}]	Mn [mg.l^{-1}]
2006	0,13	0,015	0,05
2007	0,09	0,012	0,05
2008	0,08	0,010	0,05
2009	0,1	0,014	0,05
2010	0,1	0,014	0,05

Na obrázku 3.31 je graf, kde jsou znázorněny koncentrace manganu naměřené v rozdělovací nádrži a dále hodnoty koncentrací manganu upravené vody. Na obr. 3.32 je porovnání hodnot koncentrací surové vody z jednotlivých přivaděčů na úpravnu, dále hodnoty manganu po smíchání v rozdělovací nádrži a hodnoty železa v upravené vodě.

Odmanganování vody



Obr. 3.31 Odmanganování vody na ÚV Mokošín



Obr. 3.32 Celkové odmanganování vody na ÚV Mokošín

Z obou grafů je patrná správná úprava vody ohledně odmanganování. V žádném vzorku upravené vody nedošlo k překročení hodnoty koncentrace manganu v pitné vodě $0,05 \text{ mg.l}^{-1}$. Z diagramu na obr. 3.32 je vidět, že na přelomu roku 2008/2009 se vůbec nemuselo odmanganovávat, jelikož byla významně omezena dodávka vody z vrtů Ja-6 a V-3. Vrtů v Luhách (CH-5 a CH-4a) mají koncentrace manganu pod limitní hranici, jejich koncentrace jsou okolo $0,01 \text{ mg.l}^{-1}$.

3.4.7 Ostatní způsoby odmanganování

Mezi ostatní používané způsoby odmanganování patří oxidace různými činidly a podobně jako u železa odstranění na iontoměničích.

Způsoby oxidace:

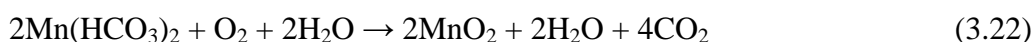
- Oxidace vzdušným kyslíkem způsobem mechanického provzdušňování
- Oxidace ozonem

Dále je možné mangan oxidovat chlorem, tento způsob se používá pouze vzácně, jelikož je potřebné pH značně vyšší než u odželezování. Reakce při pH 7 by probíhala cca 2 až 3 hodiny.

Odmanganování oxidací vzdušným kyslíkem způsobem mechanického provzdušňování

Při odmanganování podzemních vod nemá klesnout pH pod 8,1 lépe 8,5. Bez předešlého vytvoření nosiče na filtračním písku dojde pouze k oxidaci Mn^{2+} , ale nedochází k odstranění manganu. K odstranění je třeba katalytického působení $\text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Zpracování filtru je možné dosáhnout dávkováním manganistanu draselného.

Oxidační reakce pro hydrogenuhličitany manganu [20]:



Oxidační reakce pro sírany manganu:



Pro oxidaci 1 mg Mn^{2+} je teoretická spotřeba $0,291 \text{ mg O}_2$.

Odmanganování oxidací ozonem

Jedná se o metodu chemického odstraňování manganu. Používá se v případech, kde je společné odželezování a odmanganování vody a surová voda obsahuje vazby železa na organické komplexy, kterými jsou například huminové látky. Ozon zde způsobuje potřebnou razantní oxidaci vody.

Oxidace manganu probíhá dle rovnice:



Potřebná dávka ozonu pro oxidaci 1 mg Mn^{2+} je 0,9 mg O_3 . Dávka ozonu musí být přiměřená, kdy snahou je, aby došlo k oxidaci manganu pouze na MnO_2 . Při vyšší dávce ozonu dochází k přeměně Mn^{2+} na vyšší oxidy, což vytváří barevnost vody. Může dojít k oxidaci až do formy manganistanové a voda je zabarvená do fialova.[20]

Odmanganování na iontoměničích

Tento způsob lze použít pro vody, kde je odmanganování obtížné. Jako měnič iontů se používá manganový permutit, na jeho velkém specifickém povrchu je vrstva oxidů manganu. Při uplatnění adsorpčního a kontaktně oxidačního procesu je zvýšena účinnost. Na sodíkový permutit působíme roztokem MnCl_2 , aktivujeme manganistanem draselným.[25]

Metoda se používá pro speciální úpravy vody v průmyslu.

4 EXPERIMENTÁLNÍ ODSTRANĚNÍ ARSENU

Podmětem vlastního experimentálního měření bylo zjištění zvýšených koncentrací arsenu ve zdrojích vody pro úpravu vody Mokošín. Měření probíhalo na Fakultě stavební VUT v Brně v laboratoři Ústavu vodního hospodářství obcí.

4.1 ÚČEL EXPERIMENTU

Cílem experimentu je porovnat dva filtrační materiály na bázi oxidu železa (GEH) a hydroxid oxidu železa (CFH) při odstranění arsenu ze surové vody. Zjistit jejich adsorpční vlastnosti při různých průtocích vody a různé době zdržení vody v koloně. Účelem je zjištění odstranění arsenu bez použití dalších činidel (úprava pH, mocností atd.). Dále bude zkoumán vliv filtrace na obsah železa a manganu ve vodě.

4.2 POSTUP MĚŘENÍ

Pro účel měření byly dodány dva adsorpční materiály – Kemira CFH 0818 (dále jen CFH) a granulovaný hydroxid – GEH. Jejich vlastnosti jsou uvedeny v kapitole 3.2.9. První částí experimentu bylo sestavení dvou kolon s filtračními náplněmi a hydraulické zaregulování. Kolona pro filtrační náplň má vnitřní průměr 4,4 cm. Sestava kolony s napojením průtokoměru, filtrátu a pracího potrubí je uvedena ve schématu obr. 4.1. Filtrační náplň byla vsypána na drenážní vrstvu ze skleněných kuliček, aby nedošlo k ucpání regulačních ventilů vlivem sypkého filtračního materiálu.

Voda se zvýšenou koncentrací arsenu byla odebrána přímo ve zdroji s největší koncentrací v Jankovicích ve vrtu Ja-6. Vzorky vody byly odebrány do plastových vzorkovnic a převezeny do laboratoře. Manipulace vzorků vody byla omezena na minimální dobu, aby nedošlo k jejich porušení.

4.2.1 Stanovení experimentálních parametrů

Před zahájením samotného experimentu bylo třeba stanovit potřebné množství vody k filtraci, průtok kolonou při praní a následné filtraci, dobu zdržení vody ve filtru a filtrační rychlost v koloně.

Znamé hodnoty společné pro oba filtry:

Vnitřní průměr kolony:	4,4 cm
Plocha filtru:	15,20 cm ²

1) Výpočet objemu vody v koloně

$$V_v = V_p = V_c \cdot n \quad [m^3] \quad (4.1)$$

kde: V_v objem vody [m^3]

V_p objem pórů [m^3]

V_c objem celkem [m^3]

n pórovitost [-]

Tab. 4.1 Objem vody v koloně

Materiál		GEH	CFH
Pórovitost	n [%]	72-77 (0,75)	72-80 (0,76)
Délka kolony	h [m]	0,55	0,58
Celkový objem	V_c [m^3]	0,00084	0,00088
Objem vody	V_v [m^3]	0,00063	0,00067

2) Výpočet průtoku pro dobu zdržení

$$Q = \frac{V}{t} \quad [m^3 \cdot \min^{-1}] \quad (4.2)$$

kde: Q průtok filtrátu [$m^3 \cdot \min^{-1}$]

V objem vody [m^3]

t čas [min]

Tab. 4.2 Průtoky dle doby zdržení

t [min]	GEH		CFH	
	Q [m^3/\min]	Q [l/h]	Q [m^3/\min]	Q [l/h]
2,5	0,000251	15,05	0,000268	16,09
7	0,000090	5,37	0,000096	5,74
15	0,000042	2,51	0,000045	2,68

3) Výpočet průtočné rychlosti a množství vody

Výpočet průtočné rychlosti slouží pouze k porovnání s udávanou průtočnou rychlostí od výrobce. Množství vody bylo počítáno pro předběžné určení množství odebíraných vzorků.

$$v = \frac{Q}{P} \text{ [cm/min]} \quad (4.3)$$

$$V = v \cdot P \cdot t \text{ [l]} \quad (4.4)$$

Kde: v průtočná rychlost [$\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$]

P plocha filtru [cm^2]

Q průtok vody [$\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$]

t čas [min]

V objem vody [l]

Tab. 4.3 Průtočné rychlosti v časech v koloně s GEH

GEH			
Čas t [min]	Průtok Q [l/h]	Průtočná rychlost v [m/hod] < 19,8	Množství vody V [l]
2,5	15,05	9,90	0,627
7	5,37	3,54	0,627
15	2,51	1,65	0,627

Tab. 4.4 Průtočné rychlosti v časech v koloně s CFH

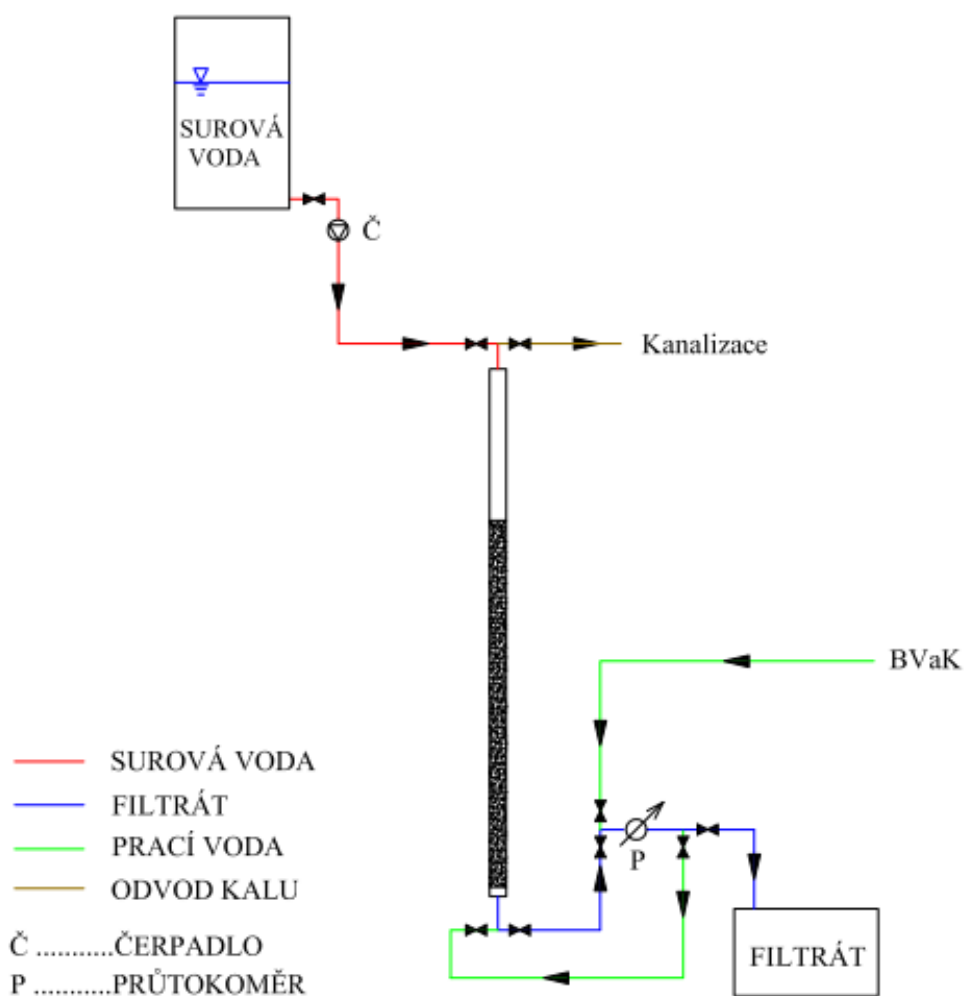
CFH			
Čas t [min]	Průtok Q [l/h]	Průtočná rychlost v [m/hod] < 20,0	Množství vody V [l]
2,5	16,09	10,58	0,670
7	5,74	3,78	0,670
15	2,68	1,76	0,670

4.2.2 Filtrace

Jelikož se jednalo o nový filtrační materiál, bylo třeba ho řádně nainstalovat dle požadavků výrobce. Oba materiály bylo třeba nechat smáčet ve vodě, dle výrobce minimálně 45 hodin před použitím, aby došlo k uvolnění zbytků z výroby. Dále byly filtry vyprány pitnou vodou z městského vodovodu Brno. Praní probíhalo ve více fázích

o různém průtoku, v rozmezí od 10 l.h^{-1} do 30 l.h^{-1} . Prvotní část praní byla na spodní hranici průtoku z důvodu vzhledu filtrační náplně. Po třech hodinách praní byl průtok zvýšen na 20 l.h^{-1} po dobu 60 minut a na závěr na 30 l.h^{-1} , kde voda byla již čistě průhledná, a hodnoty zákalu byly minimální. Praní probíhalo v obráceném cyklu než filtrace, tedy zdola nahoru. Během praní byly odebrány vzorky k měření zákalu. Pro správné nastavení praní i vlastní filtrace byl použit průtokoměr se škrticí tryskou pro jemnou regulaci průtoku. Velikost průtokoměru byla zvolena dle doporučených rychlostí při praní. Rozsah stupnice průtokoměru byl od 10 l.h^{-1} do 100 l.h^{-1} .

Po zapracování filtru došlo k vlastní filtraci zkoušené vody.



Obr. 4.1 Schéma zapojení filtračního systému

Tab. 4.5 Zákal v prací vodě

t [min]	CFH	GEH
	Zákal [ZF]	Zákal [ZF]
vstupní	1,12	1,12
1	> 999,00	852,00
180	516,00	65,80
240	186,00	13,40
360	93,10	5,23

Z tabulky je patrné, že materiál Kemira CFH při praní vykazoval stále větší hodnoty zákalu. Voda měla červenohnědé zbarvení, což je dáno znatelnou koncentrací uvolněného nerozpuštěného hydroxidu železitého z materiálu. Po všech cyklech praní byl odebrán zkušební vzorek vody z obráceného režimu (filtrace) a oba materiály vykazovaly hodnoty menší než 3 ZF. Což splňuje Vyhlášku 252/2004 pro pitnou vodu, která udává mezní hodnotu zákalu 5 ZF.

4.2.3 Podmínky filtrace

Pro filtraci byly zohledněny podmínky výrobců adsorpčních materiálů. Nebyla pouze dodržena doporučená výška filtrační náplně udávaná výrobcem (min 0,8 m CFH a 1 m pro GEH), jelikož uvedená výška je stanovena výrobcem pro reálný filtr, nejedná se tedy o experimentální model.

Tab. 4.6 Podmínky filtrace

Parametr	GEH		Kemira CFH	
	Měření	Výrobce	Měření	Výrobce
Výška filtrační náplně [m]	0,55	0,8 – 1,6	0,58	1 – 1,6
Max. filtrační rychlost [m.h ⁻¹]	9,9	19,8	10,6	20
Max. rychlost praní [m.h ⁻¹]	19,7	26	19,7	48,6
Rozmezí pH	7,01	5,5 – 9,0	7,01	6,5 – 7,5

4.3 VÝSLEDKY ROZBORU

Pro měření pH byl použit digitální pH metr, který dokáže měřit také teplotu kapaliny. Zákal byl měřen na přenosném turbidimetru. Ke zjištění koncentrací železa, manganu a arsenu byl použit spektrofotometr. V případě železa a manganu je přístroj nulován měřenou kapalinou a měří se roztokem měřené kapaliny s rozpuštěným reaktantem. Pro zjištění arsenu byl postup složitější. Přístroj je nulován destilovanou vodou a měří tekutý louh, který je vyroben ze surové vody a po přidání šesti reaktancí se sorbuje ve speciální sorpční trubičce na arsen po dobu 2 hodin. Fotodokumentace z měření je zobrazena v kapitole 4.4.

Tab. 4.7 Rozbor surové vody

Surová voda						
t [min]	pH	T [°C]	Zákal [ZF]	c Fe [mg.l ⁻¹]	c Mn [mg.l ⁻¹]	c As [µg.l ⁻¹]
0	7,01	12,7	12,4	4,47	0,454	26

Tab. 4.8 Hodnoty filtrátu z GEH

GEH						
t [min]	pH	T [°C]	Zákal [ZF]	c Fe [mg.l ⁻¹]	c Mn [mg.l ⁻¹]	c As [µg.l ⁻¹]
2,5	7,08	13,7	2,79	0,16	0,063	1
7	7,05	13,6	1,96	0,16	0,052	1
15	7,3	13,6	2,06	0,16	0,027	< 1

Tab. 4.9 Hodnoty filtrátu z CFH

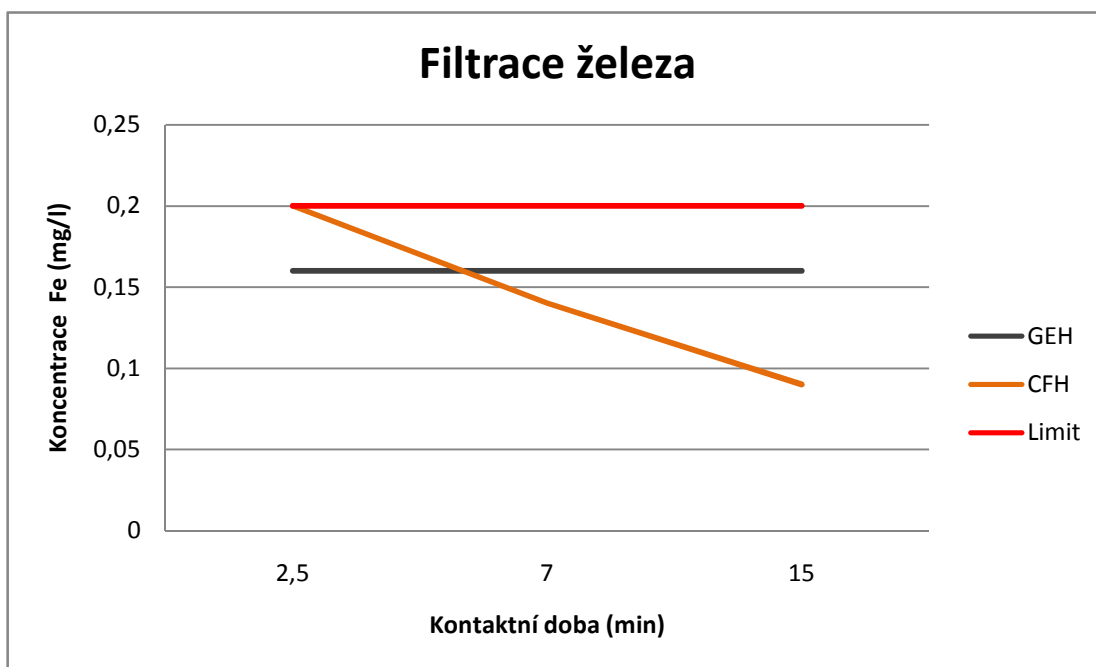
Kemira CFH						
t [min]	pH	T [°C]	Zákal [ZF]	c Fe [mg.l ⁻¹]	c Mn [mg.l ⁻¹]	c As [µg.l ⁻¹]
2,5	7,86	13,7	2,86	0,2	0,018	1
7	7,94	13,7	2,48	0,14	0,022	1
15	8,06	13,6	1,94	0,09	0,018	< 1

Z tabulek je patrné, že oba materiály jsou vynikající na odstranění arsenu a dosahují stejných filtračních výkonů. Už při nejmenší době zdržení (2,5 min) byla koncentrace arsenu v upravené vodě hluboko pod limitem nejvyšší možné hodnoty dle Vyhlášky 252/2004 Sb. Delší doby zdržení už neměli výraznější vliv na odstranění arsenu. Pouze

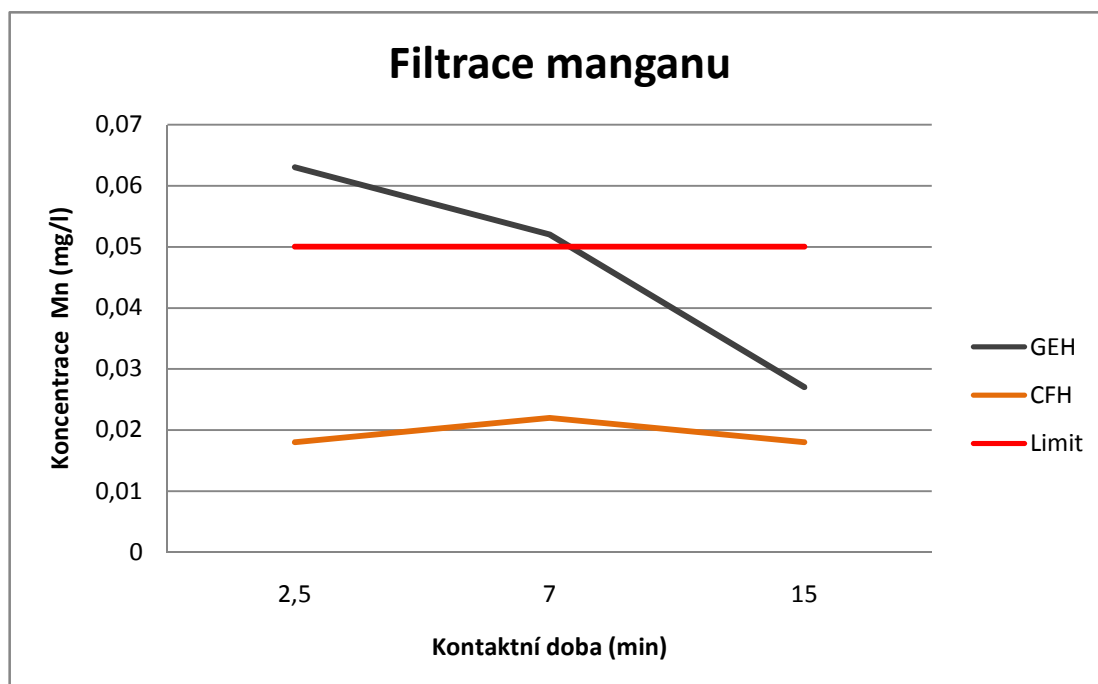
u zdržení 15 minut byla koncentrace naměřena menší jedna, přesnou hodnotu nelze na přístroji změřit. Vzhledem k rychlosti odstranění arsenu se jedná o kontaktní filtraci.

Podařilo se také zjistit, že tyto materiály odstraňují z podzemní vody železo i mangan. Materiál GEH odstraňuje železo hned při kontaktu na hodnotu $0,16 \text{ mg.l}^{-1}$ a po delší kontaktní době zdržení se koncentrace odstraněného železa nemění. Pro odstranění manganu pod limitní hodnotu pitné vody je třeba filtrace s kontaktní dobou delší než sedm minut. Z grafu na obr. 4.3 je patrná závislost odstraněného manganu na době zdržení.

Materiál CFH 0818 odstraňuje železo v závislosti na čase (obr.4.2). Hodnoty koncentrace železa klesají se zvyšující se dobou filtrace. K odstranění manganu dochází kontaktně bez závislosti na době zdržení na hodnotu koncentrace cca $0,02 \text{ mg.l}^{-1}$.

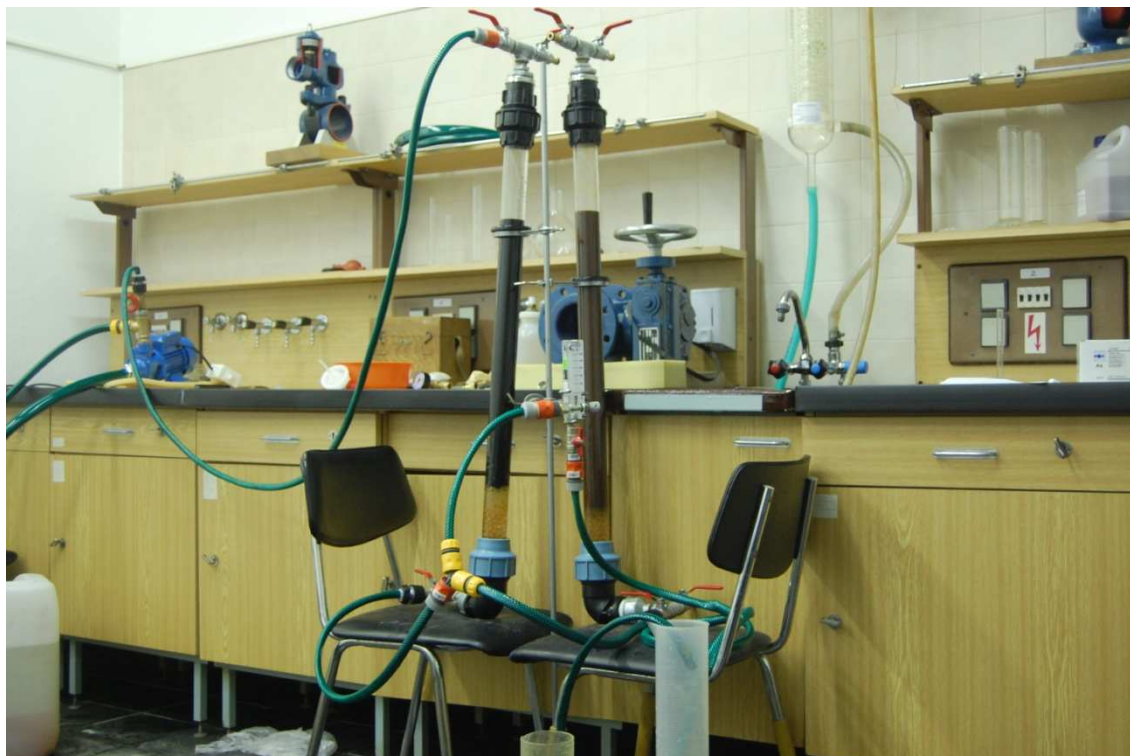


Obr. 4.2 Filtrace železa



Obr. 4.3 Filtrace manganu

4.4 FOTODOKUMENTACE K EXPERIMENTU



Obr. 4.4 Zapojené filtrační kolony



Obr. 4.5 Praní filtračního materiálu



Obr. 4.6 Turbidimetr a pH metr



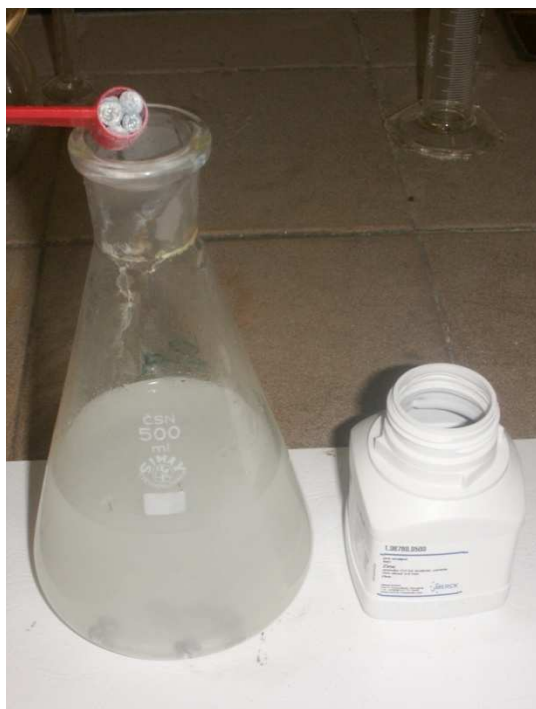
Obr. 4.7 Spektrofotometr a reaktance As



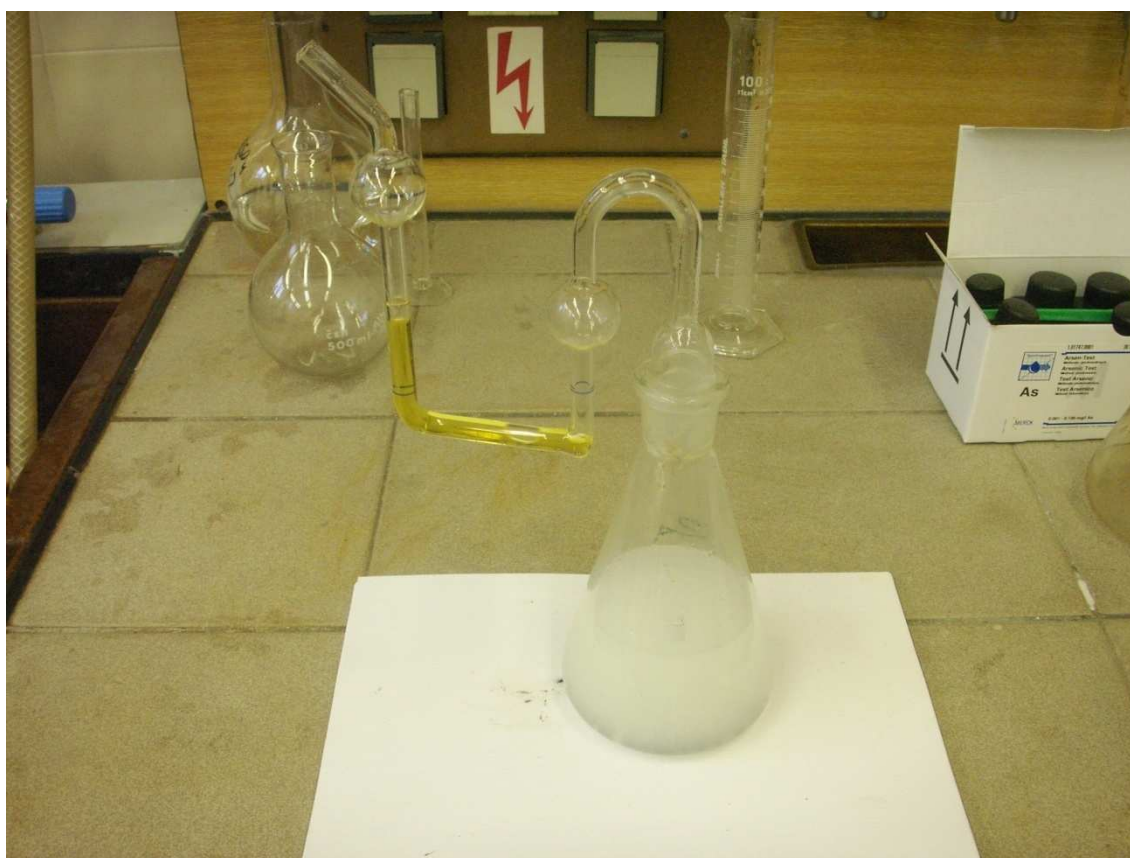
Obr. 4.8 Dávkování reaktancí As-1, As-3



Obr. 4.9 Dávkování reaktancí As-4, As-6



Obr. 4.10 Dávkování reaktancí zinku a As-5



Obr. 4.11 Louhování měřeného vzorku

5 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo zhodnotit úpravnu vody v Mokošíně vzhledem ke kvalitě upravené vody, zabývat se podrobněji látkami, které se nachází v surové vodě a je třeba upravovat jejich koncentraci. Jelikož v posledních letech je ve zdrojích pro úpravnu vody arsen, byla tomuto prvku věnována samostatná kapitola. Dále provést výzkumné měření dvou speciálních filtračních materiálů k odstranění arsenu a zjistit, zda je možné tyto materiály použít na ostatní běžné látky v podzemní vodě.

Bylo vytipováno pět možných zdrojů pro ohrožení arsenem a dle hydrologické zprávy zpracované pro VaK Pardubice a.s. prověřeno více jak 170 vzorků vody podzemní, vody povrchové stojaté i proudící, zemin a hornin. Z těchto vzorků byla sestavena studie nejvyšší koncentrace arsenu v okolí. Mezi uvažované zdroje patří SOO Chvaletice, MKZ Chvaletice, historické dobývky, znečištění z odvalů hlušiny a přepracované rudniny, plošný vliv geologického podloží. Při laboratorních analýzách bylo zjištěno, že znečištění arsenem nepochází ze zemin ani vod povrchových. Vypracovaný „Model proudění podzemní vody pro akci Jankovice“ na Masarykově univerzitě vyloučil některé okolní uvažované zdroje znečištění arsenem pro zdroje podzemní vody na úpravnu vody Mokošín. Zdrojem arsenu ve vrtu v Jankovicích připadá v úvahu hornina z prostoru Sovolusky – Litošice – Krasnice. Geologické pozadí výskytu arsenu bylo zřejmě značně umocněno důsledky dlouhodobé hornické činnosti v sledovaném území. Ale i přesto doporučuji uskutečnit rozšíření hydrologické studie o neregistrované objekty historické hornické činnosti na území proudnic podzemní vody do vrtu v Jankovicích. Úpravna vody Mokošín prozatím nemá zařízení k odstraňování arsenu, jelikož voda je míchána ze čtyř vrtů a po zjištění arsenu bylo čerpání z vrtu v Jankovicích omezeno, aby docházelo k ředění dle směšovací rovnice do přípustných koncentrací. Po výzkumu v laboratoři bylo zjištěno, že existuje spolehlivá metoda na snižování arsenu ve vodě pomocí sorpce na speciální filtrační materiály. Pro účel experimentu byly odzkoušeny dva adsorpční materiály – Kemira CFH 0818 a granulovaný hydroxid – GEH. Dále se podařilo zjistit, že tyto materiály odstraňují z podzemní vody železo i mangan. Materiál GEH odstraňuje železo hned při kontaktu na hodnotu 0,16 mg/l a po delší kontaktní době zdržení se koncentrace odstraněného železa nemění oproti tomu odstranění manganu je závislé na kontaktní době. Materiál CFH 0818 naopak odstraňuje železo v závislosti na čase a k odstranění manganu dochází kontaktně bez závislosti na době zdržení.

Prvky železa a manganu jsou běžnou součástí podzemních vod. Na úpravně vody dochází k odstranění jejich koncentrací pod limitní hodnotu v pitné vodě danou Vyhláškou 252/2004 Sb. Přípustných koncentrací se dosahuje na pískových filtrech.

Úpravna vody Mokošín funguje bez problémů a kvalita vody v posledních letech narůstá i vzhledem k instalaci UV záření pro dezinfekci vody.

6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Pardubického kraje : Územní celek Pardubice*. Hradec Králové : [s.n.], 2004. 44 s. Dostupné z WWW: <http://195.113.178.19/html/prvkuk/index.html>.
- [2] *Vodovody* [online]. 2005 [cit. 2011-08-05]. Plán rozvoje vodovodů a kanalizace. Dostupné z WWW: <http://195.113.178.19/html/prvkuk/index.html>.
- [3] HAMPL, Stanislav. Desetiletá zkušenost s provozem vodovodu Přelouč zdravotně zabezpečeným UV zářením. In *Sborník z X. ročníku konference PITNÁ VODA 2010*. České Budějovice : W&ET Team, 2010. s. 53-58. ISBN 978-80-254-6854-8.
- [4] Česko. Vyhláška MZ č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. In *Sbírka zákonů, Česká republika*. 2004, 82/2004, s. 7-10.
- [5] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. Třetí vydání. Praha : VŠCHT Praha, 2005. 555 s.
- [6] POMYČKOVÁ, Ivana, et al. Problematika arsenu v pitné vodě v České republice : Příjem, chování v organismu. In *Sborník z X. ročníku konference PITNÁ VODA 2010*. České Budějovice : W&ET Team, 2010. s. 145-150. ISBN 978-80-254-6854-8.
- [7] PAZDERA, Josef. *Osel.cz* [online]. 21.6.2010 [cit. 2011-10-02]. Nová tvář arsenu - pozdě býka honit. Dostupné z WWW: <<http://www.osel.cz/tisk.php?clanek=5111>>.
- [8] KOŽÍŠEK, František, et al. Problematika arsenu v pitné vodě v České republice : Výskyt v prostředí, zvláště ve vodě a půdě. In *Kovy a související látky v pitné vodě*. Praha : Program COST, 2008. s. 2-7.
- [9] Vodní zdroje Ekomonitor. *Hydrogeologická studie ohrožení vodních zdrojů Jankovice a Brloh*. Pardubice : Ekomonitor, 2011. 38 s.
- [10] *Mzp.cz* [online]. Praha : 2010 [cit. 2011-10-08]. Stručné shrnutí údajů: Bohemian Waste Management a.s. Dostupné z WWW: <[http://www.mzp.cz/www/ippc.nsf/\\$pid/MZPXXFV6WT7G](http://www.mzp.cz/www/ippc.nsf/$pid/MZPXXFV6WT7G)>.
- [11] SLAVÍK, František. *Nerosty z ložisk manganových rud v Železných horách*. Praha : Čas.Nár.muz., 1928. 113 s.
- [12] NĚMEČEK, Z; KLOZAR, J. *Úprava kyzových břidlic z Chvaletic-východu (Zdechovice)*. Praha : MS ČGS, 1957. 85 s.
- [13] ŽITNÝ, L. *Sledování vlivu provozu odkaliště na podzemní vody v okolí elektrárny Chvaletice*. Praha : MS ČGS, 1988. 29 s.
- [14] SÁŇKA, Milan; MATERNA, Jan. Indikátory kvality zemědělských a lesních půd. *Edice PLANETA 2004 : Odborný časopis pro životní prostředí* [online]. 2004, 12, 11/2004, [cit. 2011-10-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf>>. ISSN 1213-3393.
- [15] Drinking Water Arsenic Removal. *Bulletins ECM ECO* [online]. 2005, 4, [cit. 2011-10-30]. Dostupný z WWW: <<http://www.ecomonitoring.com>>.

- [16] [Http://www.adedgetech.com](http://www.adedgetech.com) [online]. 2009 [cit. 2011-10-30]. Dostupné z WWW: <SMALL WATER SYSTEM SOLUTIONS APU & MODULAR SYSTEM APPLICATIONS>.
- [17] *Water Treatment* [online]. 2006 [cit. 2011-10-30]. Lanxess.cz. Dostupné z WWW: <<http://lanxess.com/en/media/photos/applications-products/water-treatment/>>.
- [18] ŠPINAR, Bohumil. Využití membránové technologie pro efektivní odstranění arsenu z pitné vody : In *Sborník z XI. Ročníku konference Městské vody 2011*. Brno : Ardec, 2011. s. 95-99. ISBN 978-80-86020-73-0M.
- [19] *Analýza vody* [online]. 1999 [cit. 2011-11-10]. Železo. Dostupné z WWW: <<http://www.analyzavody.cz/zelezo/>>.
- [20] TUHOVČÁK, Ladislav, et al. *Vodárenství : A. Úprava vody*. Studijní opora, Brno, 2006. 155 s.
- [21] HAVEL, Bohumil. Hodnocení zdravotních rizik železa z pitné vody. In *Sborník z 16. konference monitoringu a konference hygieny životního prostředí* [online]. Praha : SZÚ, 2011 [cit. 2011-11-27]. Dostupné z WWW: <http://www.szu.cz/uploads/documents/szu/akce/konference-milovy/pdf/Voda/HRA_pitna_voda_zelezo.pdf>.
- [22] MALÝ, J; MALÁ, J. *Chemie a technologie vody : Studijní opora*. Brno : Noel 2000, 2006. Odželezování vody, s. 13-17.
- [23] *Odželezování vody* [online]. 1999, 2011 [cit. 2011-11-28]. Ekomonitor. Dostupné z WWW: <www.uprava-vody.com>.
- [24] MALÝ, J; MALÁ, J. *Chemie a technologie vody : Studijní opora*. Brno : Noel 2000, 2006. Odmanganování vody, s. 17-21.
- [25] *Odmanganování vody* [online]. 1999, 2011 [cit. 2011-12-03]. Ekomonitor. Dostupné z WWW: <www.uprava-vody.com>.
- [26] ČSN 830611. *Pitná voda*. Praha : Český normalizační institut, 27.3.1974. 7 s.
- [27] ČSN 757111. *Pitná voda*. Praha : Český normalizační institut, 5.1.1989. 21 s.
- [28] Česko. Vyhláška Ministerstva zdravotnictví ze dne 9. září 2000, kterou se stanoví požadavky na pitnou vodu a rozsah a četnost její kontroly. In *Sbírka zákonů ročník 2000*. 2000, 103, s. 4879-4892.
- [29] Česko. Vyhláška ze dne 28. dubna 2004 o požadavcích na jakost a zdravotní nezávadnost balených vod a o způsobu jejich úpravy. In *Sbírka zákonů ročník 2004*. 2004, 88, s. 5791-5808.
- [30] Česko. Nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech Typ předpisu:. In *Sbírka zákonů ročník 2003*. 2003, 24, s. 892.

- [31] Česko. Vyhláška Ministerstva životního prostředí ze dne 17. října 2001 o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě. In *Sbírka zákonů ročník 2002*. 2001, 145, s. 8341-8354.
- [32] Česko. Vyhláška ze dne 5. srpna 2009 o používání sedimentů na zemědělské půdě. In *Sbírka zákonů ročník 2009*. 2009, 77, s. 3551-3564.
- [33] Česko. Vyhláška ze dne 11. července 2005 o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady. In *Sbírka zákonů ročník 2005*. 2005, 105, s. 5411-5443.
- [34] EU. SMĚRNICE RADY 98/83/ES ze dne 3. listopadu 1998 o jakosti vody určené k lidské spotřebě. In *Nariadení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1882/2003 ze dne 29. září 2003*. 1998, L 330, s. 32.

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Počet připojených obyvatel [1].....	6
Tab. 2.2 Specifická potřeba vody [1].....	7
Tab. 2.3 Vydatnost zdrojů.....	11
Tab. 2.4 Spotřeba chemikálií	15
Tab. 2.5 Spotřeba prací vody	18
Tab. 2.6 KTJ koliformní bakterie ve vodojemech [3]	22
Tab. 2.7 KTJ koliformní bakterie ve spotřebišti [3]	22
Tab. 2.8 Bilance vody na ÚV Mokošín	24
Tab. 3.1 Vybrané mikrobiologické a biologické ukazatele	27
Tab. 3.2 Vybrané fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele	28
Tab. 3.3 Právní předpisy o koncentraci As v pitné vodě	34
Tab. 3.4 Právní předpisy o koncentraci As v ostatních vodách.....	35
Tab. 3.5 Právní předpisy o koncentraci As v půdách	36
Tab. 3.6 Vývoj koncentrace arsenu ve zdrojích.....	37
Tab. 3.7 Čerpané množství elektrárna Chvaletice (2008) [9].....	38
Tab. 3.8 Koncentrace As v podzemní vodě	43
Tab. 3.9 Koncentrace ve vrtech během hydrogeolog. studie.....	45
Tab. 3.10 Koncentrace As v povrchové vodě.....	46
Tab. 3.11 Vlastnosti filtračního materiálu GEH	55
Tab. 3.12 Provozní parametry při použití GEH.....	56
Tab. 3.13 Zrnitost filtračních materiálů Kemira	57
Tab. 3.14 Vlastnosti filtračního materiálu CFH	57
Tab. 3.15 Provozní parametry při použití CFH	58
Tab. 3.16 Vlastnosti filtračního materiálu Bayoxide E33	59
Tab. 3.17 Právní předpisy o koncentraci Fe v pitné vodě.....	64
Tab. 3.18 Průměrné roční koncentrace Fe	66
Tab. 3.19 Hodnoty koncentrace Fe na ÚV Mokošín	70
Tab. 3.20 Právní předpisy o koncentraci Mn v pitné vodě	76

Tab. 3.21 Průměrné roční koncentrace Mn.....	78
Tab. 3.22 Hodnoty koncentrace Mn na ÚV Mokošín.....	80
Tab. 4.1 Objem vody v koloně	85
Tab. 4.2 Průtoky dle doby zdržení.....	85
Tab. 4.3 Průtočné rychlosti v časech v koloně s GEH.....	86
Tab. 4.4 Průtočné rychlosti v časech v koloně s CFH	86
Tab. 4.5 Zákal v prací vodě	88
Tab. 4.6 Podmínky filtrace	88
Tab. 4.7 Rozbor surové vody.....	89
Tab. 4.8 Hodnoty filtrátu z GEH	89
Tab. 4.9 Hodnoty filtrátu z CFH.....	89

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Úpravna vody Mokošín	3
Obr. 2.1 Umístění ÚV Mokošín.....	4
Obr. 2.2 Mapa zájmového území.....	5
Obr. 2.3 Skupinový vodovod Přelouč [2]	8
Obr. 2.4 Aquaglobus Řečany nad Labem	9
Obr. 2.5 Umístění vodovodních zdrojů	10
Obr. 2.6 Vydatnost zdrojů.....	12
Obr. 2.7 Vodovodní zdroj Luhy.....	12
Obr. 2.8 Čerpací zařízení v Luhách	13
Obr. 2.9 Blokové schéma ÚV Mokošín.....	14
Obr. 2.10 Rozdělovací nádrž	14
Obr. 2.11 Spotřeba manganistanu draselného	16
Obr. 2.12 Spotřeba chlóru.....	16
Obr. 2.13 Nádrže na suspenzi manganistanu draselného.....	17
Obr. 2.14 Spotřeba prací vody	18
Obr. 2.15 Pískové filtry.....	19
Obr. 2.16 Dezinfekce UV zářením	21
Obr. 2.17 Hodnocení všech vodojemů v oblasti [3]	22
Obr. 2.18 Hodnocení ve spotřebišti [3].....	22
Obr. 2.19 Kolif. bakterie ve vodojemu Zdechovice [3].....	23
Obr. 2.20 Kolif. bakterie ve spotřebišti [3].....	23
Obr. 2.21 Bilance vody na ÚV Mokošín	25
Obr. 3.1 Účinky arsenu na rukách [7].....	32
Obr. 3.2 Riziko úmrtnosti [7].....	33
Obr. 3.3 Vývoj koncentrací As na ÚV Mokošín	38
Obr. 3.4 Areál skládky Chvaletice.....	40
Obr. 3.5 Situace skládky ke zdrojům pitné vody	40
Obr. 3.6 Koncentrace As v podzemní vodě	44
Obr. 3.7 Procentuelní zhodnocení koncentrace As v podzemní vodě	44

Obr. 3.8 Koncentrace As v povrchové vodě	46
Obr. 3.9 Procentuelní zhodnocení koncentrace As v povrchové vodě	47
Obr. 3.10 Koncentrace As v sedimentech ve vodě	48
Obr. 3.11 Koncentrace As v horninách	49
Obr. 3.12 Koncentrace As vzorků v zeminách	50
Obr. 3.13 Hydroizohypsy podzemní vody	52
Obr. 3.14 Detail - hydroizohypsy podzemní vody	53
Obr. 3.15 Blokové schéma se zařazenou filtrací k odstranění arsenu	54
Obr. 3.16 Filtrační materiál GEH	56
Obr. 3.17 Filtrační materiál Kemira CFH 0818	58
Obr. 3.18 Bayoxide E33 [17]	60
Obr. 3.19 Diagram rozpustnosti amorfního železa [5]	62
Obr. 3.20 Diagram oblastí převažující existence systému Fe [22]	64
Obr. 3.21 Železitá voda	66
Obr. 3.22 Koncentrace železa ve zdrojích Ja-6 a V-3	67
Obr. 3.23 Koncentrace železa ve zdrojích CH-5 a CH-4a	67
Obr. 3.24 Časový průběh oxidace vzdušným kyslíkem v závislosti na pH [22]	69
Obr. 3.25 Odželezování vody na ÚV Mokošín	70
Obr. 3.26 Celkové odželezování vody na ÚV Mokošín	71
Obr. 3.27 Závislost rychlosti oxidace Mn^{II} na hodnotě pH [5]	74
Obr. 3.28 Diagram převažující existence Mn [24]	75
Obr. 3.29 Koncentrace manganu ve zdrojích Ja-6 a V-3	78
Obr. 3.30 Koncentrace manganu ve zdrojích CH-5 a CH-4a	79
Obr. 3.31 Odmanganování vody na ÚV Mokošín	81
Obr. 3.32 Celkové odmanganování vody na ÚV Mokošín	81
Obr. 4.1 Schéma zapojení filtračního systému	87
Obr. 4.2 Filtrace železa	90
Obr. 4.3 Filtrace manganu	91
Obr. 4.4 Zapojené filtrační kolony	91
Obr. 4.5 Praní filtračního materiálu	92

Obr. 4.6 Turbidimetr a pH metr	93
Obr. 4.7 Spektrofotometr a reaktance As	93
Obr. 4.8 Dávkování reaktancí As-1, As-3	94
Obr. 4.9 Dávkování reaktancí As-4, As-6	94
Obr. 4.10 Dávkování reaktancí zinku a As-5.....	95
Obr. 4.11 Louhování měřeného vzorku	95

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

P	...	plocha [m^2]
t	...	čas [s]
v	...	rychlost [m.s^{-1}]
Q	...	průtok [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$]
E	...	Oxidačně redukční potenciál [V]
c	...	koncentrace [mg.l^{-1} , mol.m^{-3}]
pO_2	...	parciální tlak kyslíku [kPa]
ES	...	evropská společenství
ÚV	...	úpravna vody
VaK	...	vodovody a kanalizace
UV	...	ultrafialové záření
DN	...	vnitřní průměr
Ja-6	...	zdroj vody v Jankovicích
CH-5	...	zdroj vody v Luhách (1)
CH-4a	...	zdroj vody v Luhách (2)
V-3	...	zdroj vody v Brlohu
ATS	...	automatická tlaková stanice
PVC	...	polyvinyl chloride
VZ	...	vodní zdroj
ČS	...	čerpací stanice
RN	...	rozdělovací nádrž
F	...	filtr
D	...	dezinfekce
VDJ	...	vodojem
CHH	...	chemické hospodářství
KH	...	kalové hospodářství
ČSN	...	česká státní norma
ČR	...	Česká republika
KTJ	...	kolonie tvořící jednotka
NMH	...	nejvyšší mezní hodnota

MH	...	mezní hodnota
PPB	...	per partes bilion
USA	...	Spojené státy americké
WHO	...	Světová zdravotnická organizace
MZ	...	Ministerstvo zdravotnictví
MZe	...	Ministerstvo zemědělství
MŽP	...	Ministerstvo životního prostředí
SZÚ	...	Státní zdravotní ústav
NV	...	nařízení vlády
OV	...	odpadní voda
SOO	...	skládka ostatního odpadu
ČGS	...	Česká geologická služba
ČHMÚ...	...	Český hydrometeorologický ústav
MKZ	...	Manganorudné a kyzové závody
ZF	...	Formazínova jednotka zákalu
pH	...	záporný dekadický logaritmus koncentrace vodíkových kationtů ve vodném roztoku
NEK-RP	...	norma environmentální kvality - přípustná průměrná hodnota

SEZNAM PŘÍLOH

1. Mapa geologického podloží M 1:50 000
2. Mapa poddolovaného území
3. Analýza vzorků podzemní vody
4. Situace odběrů podzemních vod
5. Analýza vzorků povrchových vod
6. Situace odběrů povrchových vod
7. Analýza vzorků dnových sedimentů
8. Situace odběrů dnových sedimentů
9. Analýza vzorků v horninách
10. Situace odběrů z hornin
11. Analýza vzorků v zeminách
12. Situace odběrů zemin
13. Situace výskytu nejvyšší koncentrace arsenu
14. Koncentrace železa ve zdrojích
15. Koncentrace železa na ÚV Mokošín
16. Koncentrace manganu ve zdrojích
17. Koncentrace manganu na ÚV Mokošín

SUMMARY

The aim of the thesis was to evaluate the water treatment plant in Mokošín due to the quality of treated water, a closer look substances which are found in raw water and need to adjust their concentration. Since in recent years, sources of water treatment for arsenic, this element was given a separate chapter. Further research carried out measurements of two special filter materials to remove arsenic and determine whether it is possible to use these materials to other common substances in groundwater.

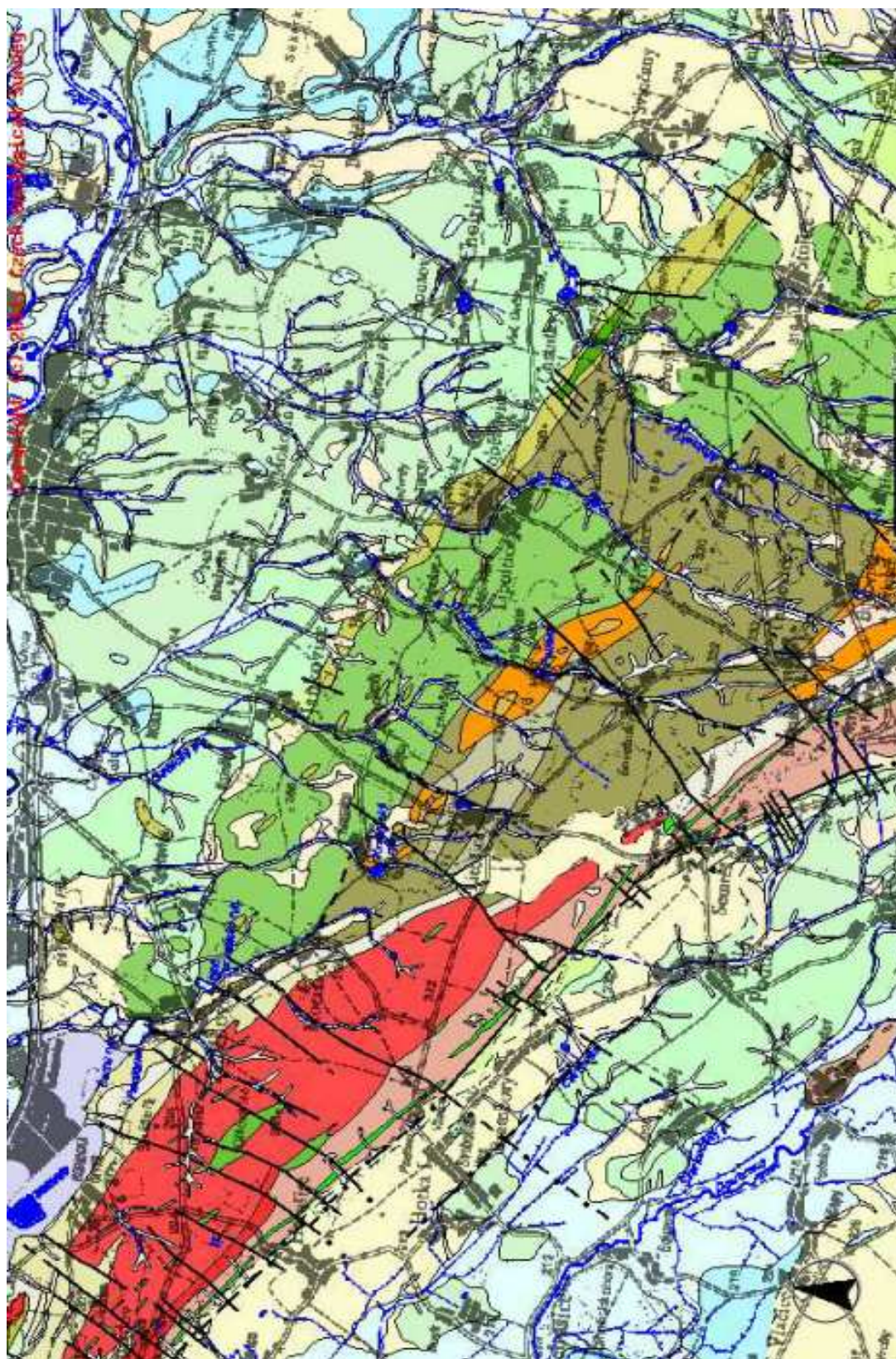
Were identified and five possible sources for arsenic threat and according to hydrological report prepared for VaK Pardubice as examined more than 170 samples of ground water, surface water stagnant and flowing, soils and rocks. These samples were prepared study the highest concentration of arsenic in the area. Developed "model of groundwater flow Jankovice for action" to eliminate some of the Masaryk University surrounding the considered sources of pollution sources for arsenic in groundwater Mokošín water treatment plant. The source of arsenic in the borehole in Jankovice applicable Sovolusky rock from space - Litošice - Krasnice. Geological background of arsenic was apparently greatly enhanced by long-term consequences of mining activities in the monitored area. But even though I recommend to carry out hydrological studies on the extension of registered objects of historical mining activity in the streamlines of groundwater into the well in Jankovice. Water treatment plant has yet Mokošín device to remove arsenic, since water is blended from four wells and the detection of arsenic was pumping from a borehole in Jankovice restricted to occur according to the dilution in the mixing equation allowable concentrations. After research in the laboratory it was found that there is a reliable method to reduce arsenic in water by sorption on a special filter materials. For the purpose of the experiment were tested two desiccant materials - Kemira CFH 0818 and granulated hydroxide - GEH. Furthermore, they found that these materials to remove from groundwater iron and manganese. GEH removes iron material immediately upon contact of the value of 0.16 mg / l after a long contact time delay removal of iron concentration does not change over the removal of manganese is dependent on contact time. Material CFH 0818 removes iron vice versa, depending on the time and manganese removal occurs through contact without depending on the time delay.

The elements iron and manganese are a normal part of the groundwater. The water treatment plant is to remove their concentrations below the limit value for drinking water, the Decree 252/2004 Coll. Allowable concentrations are reached through sand filters.

Water treatment Mokošín works without problems and water quality in recent years, increasing also due to the installation of UV radiation for disinfection.

1. MAPA GEOLOGICKÉHO PODLOŽÍ

Výtah z mapy GeoČR 1:50 000



Sjednocená legenda GeoČR 50

kenozoikum

kvartér

holocén

- | | |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------|
| 1 | navážka, halda, výsypka, odval (antropogenní) (složení proměnlivé) |
| 5 | nivní sediment (fluvialní) |
| 6 | nivní sediment (fluvialní nečlenené + sedimenty vodních nádrží) |
| 7 | smíšený sediment (deluviofluvialní) |
| 9 | slatina, rašelina, hnílokal (organická) |
| 12 | písečito-hlinitý až hlinito-písečný sediment (deluvialní) (složení pestré) |

pleistocén

- | | |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 15 | navátý písek (eolická) (složení křemen převážně + příměsí) |
| 16 | spraš a sprašová hlína (eolická) (složení křemen + příměsí + CaCO ₃) |
| 20 | sediment deluvioeolický (složení křemen + příměsí + CaCO ₃) |
| 22 | písek, štěrk (fluvialní) (složení pestré) |
| 24 | písek, štěrk (fluvialní) (složení pestré) |
| 25 | písek, štěrk (fluvialní) (složení pestré) |

křída svrchní

- | | |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 297 | slínovce s polohami či konkréciemi vápenců, rytmy či cykly slínovce - vápenec (jílovito vápnité prachovce - lužický vývoj) |
| 307 | písečné slínovce až jílovce spongilitické, místy silicifikované (opuky) (marinní) |
| 309 | slepence vápnité, vápence biotritické (marinní) (složení vápnité) |
| 313 | jílovce, prachovce, pískovce křemenné, jílovité, glaukonitické, slepence (sladkovodní až marinní) |

ordovik

ordovik střední, ordovik svrchní

- | | |
|------------|---------------------------------------------------------------------|
| 620 | tmavé jílovité břidlice a prachovce (siltovce) (anchimetamorfované) |
|------------|---------------------------------------------------------------------|

ordovik spodní

- | | |
|------------|--------------------------------------------------|
| 624 | křemence s vložkami slepenců a písčitých břidlic |
|------------|--------------------------------------------------|

kambrium

kambrium spodní, kambrium střední

- | | |
|------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 631 | porfyr (porfyrít) |
| 627 | jílovité až drobovité břidlice, droby, drobové pískovce (anchimetamorfované) |
| 629 | křemence, pískovce (anchimetamorfované) |
| 630 | slepence (anchimetamorfované) |

paleozoikum až proterozoikum

neoproterozoikum, kambrium

- 658** amfibolit
- 659** biotitická pararula (složení biotit, +/- granát)

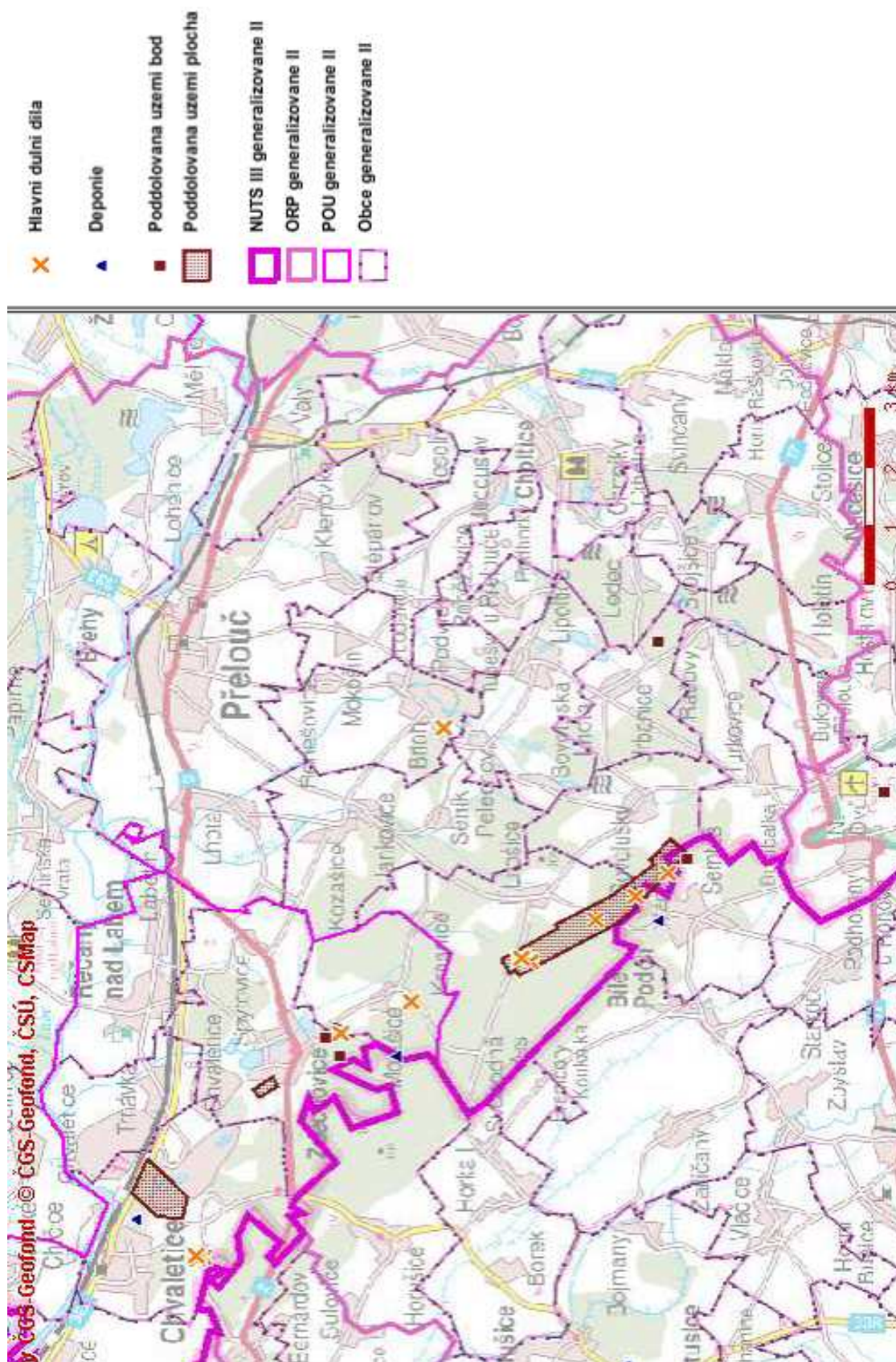
proterozoikum

- 677** droba
- 678** slepenec (anchimetamorfované)
- 669** metandezit
- 672** keratofyr a křemenný keratofyr (složení křemen)
- 670** konglomerátický místy pumový aglomerát
- 674** pilow láva
- 679** jílovité břidlice až grafitické břidlice (složení jíl až jíl grafit)
- 680** jílovité břidlice (složení jíl)
- 682** slepenec
- 684** spilit
- 683** amfibolické gabro až metagabro s přechody do amfibolitů (složení hornblend, hornblend pyroxen)
- 685** leukokráttní granit
- 676** dvojslidný granit (složení dvojslidný)
- 2123** dvojslidný granit místy usměrněný až mylonitizovaný (složení dvojslidný)

paleozoikum až proterozoikum

- 1191** pararula (složení biotit +/- granát, kyanit)

2. MAPA PODDOLOVANÉHO ÚZEMÍ



3. ANALÝZA VZORKŮ PODZEMNÍ VODY

Tab. 0.1 Analýza vzorků podzemní vody - odběr 29.10.2010

č. vzorku	Datum odběru	Oblast	Vrt	As [mg/l]
1	29.10.2010	Jankovice	Ja -6	0,026
2	29.10.2010	Brloh	V-3	0,007

Tab. 0.2 Analýza vzorků podzemní vody - odběr 17.12.2010

č. vzorku	Datum odběru	Oblast	Vrt	As [mg/l]
3	17.12.2010	Lipoltice	č.p. 105	0,009
4	17.12.2010	Morašice	č.p. 16	<0,005
5	17.12.2010	Poběžovice	V-116	<0,005
6	17.12.2010	Spytovice	veřejná studna	<0,005
7	17.12.2010	Labětín	R-6	<0,005
8	17.12.2010	Chvaletice-SOO	PV-13	0,007

Tab. 0.3 Analýza vzorků podzemní vody - odběr 4.1.2011

č. vzorku	Datum odběru	Místo odběru	Vrt	As [mg/l]
9	4.1.2011	Labětín	č.k. 535/39	0,006
10	4.1.2011	Labětín	R-6	0,005
11	4.1.2011	Trnávka	1401	0,014
12	4.1.2011	Trnávka	HPJ 20	0,37
13	4.1.2011	Trnávka	u ČOV	0,03
14	4.1.2011	Trnávka	HPJ 14	0,012
15	4.1.2011	Chvaletice	1601	0,022
16	4.1.2011	Chvaletice	1511	0,006
17	4.1.2011	Chvaletice	1211	0,005
18	4.1.2011	Chvaletice	1506	<0,005
19	4.1.2011	Chvaletice	1031	0,005
20	4.1.2011	Chvaletice	1030 A	0,85

Tab. 0.4 Analýza vzorků podzemní vody - odběr 5.1.2011

č. vzorku	Datum odběru	Místo odběru	Vrt	As [mg/l]
21	5.1.2011	Škudly	č.p. 13	0,008
22	5.1.2011	Škudly	č.p. 44	0,006
23	5.1.2011	Škudly	veřejná studna	0,006
24	5.1.2011	Škudly	Zdroj ZD	<0,005
25	5.1.2011	Škudly	1412	0,006
26	5.1.2011	Škudly	R-5	0,006
27	5.1.2011	Řečany	č.p. 303	0,007
28	5.1.2011	Chvaletice	PV-11	0,005
29	5.1.2011	Chvaletice	PV-12	0,007
30	5.1.2011	Chvaletice	PV-13	0,9
31	5.1.2011	Chvaletice	PV-14	0,03

Tab. 0.5 Analýza vzorků podzemní vody - odběr 6.1.2011

č. vzorku	Datum odběru	Místo odběru	Vrt	As [mg/l]
32	6.1.2011	Chvaletice	PV-14	0,007
33	6.1.2011	Chvaletice	1209 A	0,006
34	6.1.2011	Chvaletice	1207 B	0,007
35	6.1.2011	Chvaletice	1201	0,007
36	6.1.2011	Chvaletice	1413	0,005
37	6.1.2011	Zdechovice	studna zámek	0,007
38	6.1.2011	Zdechovice	studna hřbitov	0,008
39	6.1.2011	Spytovice	zdroj pro hřiště	0,006

Tab. 0.6 Analýza vzorků podzemní vody - odběr 10.1.2011

č. vzorku	Datum odběru	Místo odběru	Vrt	As [mg/l]
40	10.1.2011	Podběžovice	VP 7317	<0,005
41	10.1.2011	Podběžovice	V-116	<0,005
42	10.1.2011	Lhota	ČHMÚ/337	0,006
43	10.1.2011	Spytovice	č.p. 41	0,005
44	10.1.2011	Spytovice	č.p. 7	<0,005

45	10.1.2011	Spytovice	ČHMÚ/343	<0,005
46	10.1.2011	Zdechovice	veřejná studna	0,009
47	10.1.2011	Zdechovice	č.p. 142	0,005

Tab. 0.7 Analýza vzorků podzemní vody - odběr 11.1.2011

č. vzorku	Datum odběru	Místo odběru	Vrt	As [mg/l]
48	11.1.2011	Litošice	č.k. 174/11	0,006
49	11.1.2011	Litošice	veřejná studna po OÚ	0,006
50	11.1.2011	Litošice	veřejná studna u hospody	0,005
51	11.1.2011	Litošice	veřejná studna u ZD	0,005
52	11.1.2011	Morašice	veřejná studna horní	<0,005
53	11.1.2011	Morašice	č.p. 16	0,005
54	11.1.2011	Morašice	č.p. 48	0,005

Tab. 0.8 Analýza vzorků podzemní vody - odběr 12.1.2011

č. vzorku	Datum odběru	Místo odběru	Vrt	As [mg/l]
55	12.1.2011	Loděnice	č.p. 20	0,005
56	12.1.2001	Lipoltice	č.p. 38	<0,005
57	12.1.2011	Pelechov	č.p. 18	0,006
58	12.1.2001	Brloh	č.p. 26	0,006
59	12.1.2011	Benešovice	č.p. 6	0,006
60	12.1.2001	Benešovice	č.p. 3	0,027
61	12.1.2011	Seník	č.p. 23	0,005
62	12.1.2001	Jankovice	č.p. 25	0,024
63	12.1.2011	Lhota	č.p. 54	0,005
64	12.1.2001	Krasnice	č.p. 7	0,023
65	12.1.2011	Krasnice	č.p. 8	<0,005

Tab. 0.9 Analýza vzorků podzemní vody - odběr 13.1.2011

č. vzorku	Datum odběru	Místo odběru	Vrt	As [mg/l]
66	13.1.2011	Krasnice	č.p. 12	<0,005
67	13.1.2011	Jankovice	V-2	0,005

68	13.1.2011	Jankovice	Ja-6	0,028
69	13.1.2011	Brloh	V-3	<0,005
70	13.1.2011	Přelouč	p. Elmer studna	0,005
71	13.1.2011	Přelouč	p. Elmer vrt	0,005
72	13.1.2011	Přelouč	fy. Kiekert	0,005

Tab. 0.10 Analýza vzorků podzemní vody - odběr 28.1.2011

č. vzorku	Datum odběru	Místo odběru	Vrt	As [mg/l]
73	28.1.2011	Lipoltice	č.p. 100	<0,005
74	28.1.2011	Lipoltice	č.p. 80	<0,005
75	28.1.2011	Podvrdy	č.p. 23	<0,005
76	28.1.2011	Turkovice	č.p. 26	<0,005
77	28.1.2011	Turkovice	naproti restauraci	<0,005
78	28.1.2011	Sovolusky	veřejná studna proti č.p. 36	<0,005
79	28.1.2011	Sovolusky	veřejná studna (rampa)	<0,005
80	28.1.2011	Sovolusky	č.p. 36	<0,005
81	28.1.2011	Sovoluská Lhota	č.p. 9	<0,005
82	28.1.2011	Sovoluská Lhota	č.p. 11	<0,005
83	28.1.2011	Mokošín	Ja-6	0,027
84	28.1.2011	Mokošín	V-3	<0,005
85	28.1.2011	Krasnice	č.p. 7	<0,005
86	28.1.2011	Krasnice	č.p. 12	<0,005
87	28.1.2011	Jankovice	č.p. 25	<0,005
88	28.1.2011	Benešovice	č.p. 3	0,041
89	28.1.2011	Litošice	č.p. 44	<0,005
90	28.1.2011	Litošice	veřejná studna (hospoda)	<0,005
91	28.1.2011	Morašice	č.p. 55	<0,005
92	28.1.2011	Morašice	veřejná studna	<0,005

Tab. 0.11 Analýza vzorků podzemní vody - odběr 4.2.2011

č. vzorku	Datum odběru	Místo odběru	Vrt	As [mg/l]
93	4.2.2011	Mokošín	Ja-6	0,05
94	4.2.2011	Mokošín	V-3	0,006
95	4.2.2011	Jankovice	č.p. 25	0,006
96	4.2.2011	Benešovice	č.p. 3	0,044
97	4.2.2011	Krasnice	č.p. 7	<0,005
98	4.2.2011	Benešovice	studna truhlářství	<0,005
99	4.2.2011	Benešovice	č.p. 6	<0,005
100	4.2.2011	Benešovice	č.p. 6 druhá strana	<0,005
101	4.2.2011	Podvrdy	č.p. 23	0,038
102	4.2.2011	Brloh	č.p. 26	<0,005
103	4.2.2011	Seník	č.p. 23	0,03
104	4.2.2011	Morašice	č.p. 16	<0,005
105	4.2.2011	Pelechov	č.p. 18	<0,005
106	4.2.2011	Sovoluská Lhota	č.p. 9	<0,005
107	4.2.2011	Litošice	studna hospoda	<0,005
108	4.2.2011	Turkovice	naproti restauraci	<0,005
109	4.2.2011	Škudly	veřejná studna	<0,005

The map displays a topographic view of the Chvalčovice region. Key features include:

- Geographical Features:** Rivers like the Labe and Otava are shown. Forested areas are indicated by green shading.
- Settlements:** Numerous villages and towns are labeled, including Chvalčovice, Jankovice, Seník, Lipotice, and others.
- Elevation Points:** Numerous black dots with numerical values represent specific elevation points across the landscape.
- Roads:** Major roads are highlighted in orange, and smaller roads in yellow.
- Scale:** A scale bar at the bottom right shows distances from 0 to 2800 meters.
- Legend:** A small legend in the bottom left corner includes the text "Změnit mapu" and "Změnit mapu".

5. ANALÝZA VZORKŮ POVRCHOVÝCH VOD

Tab. 0.12 Analýza vzorků povrchové vody - odběr 29.10.2010

č. vzorku	Datum odběru	Oblast	Místo odběru	As [mg/l]
1	29.10.2010	Litošice	Senický potok (jih)	0,006
2	29.10.2010	Litošice	Senický potok (propustek)	<0,005
3	29.10.2010	Litošice	Krasnický potok	<0,005
4	29.10.2010	Krasnice	Kras. potok (nad rybníkem)	0,012
5	29.10.2010	Krasnice	Kras. pot. Přítok lesní cesta	0,005
6	29.10.2010	Seník	Senický potok (sever)	0,009
7	29.10.2010	Pelechov	Brložský potok	0,005
8	29.10.2010	Krasnice	Krasnický potok - pramen	<0,005
9	29.10.2010	Sovolusky	Brložský potok	0,005

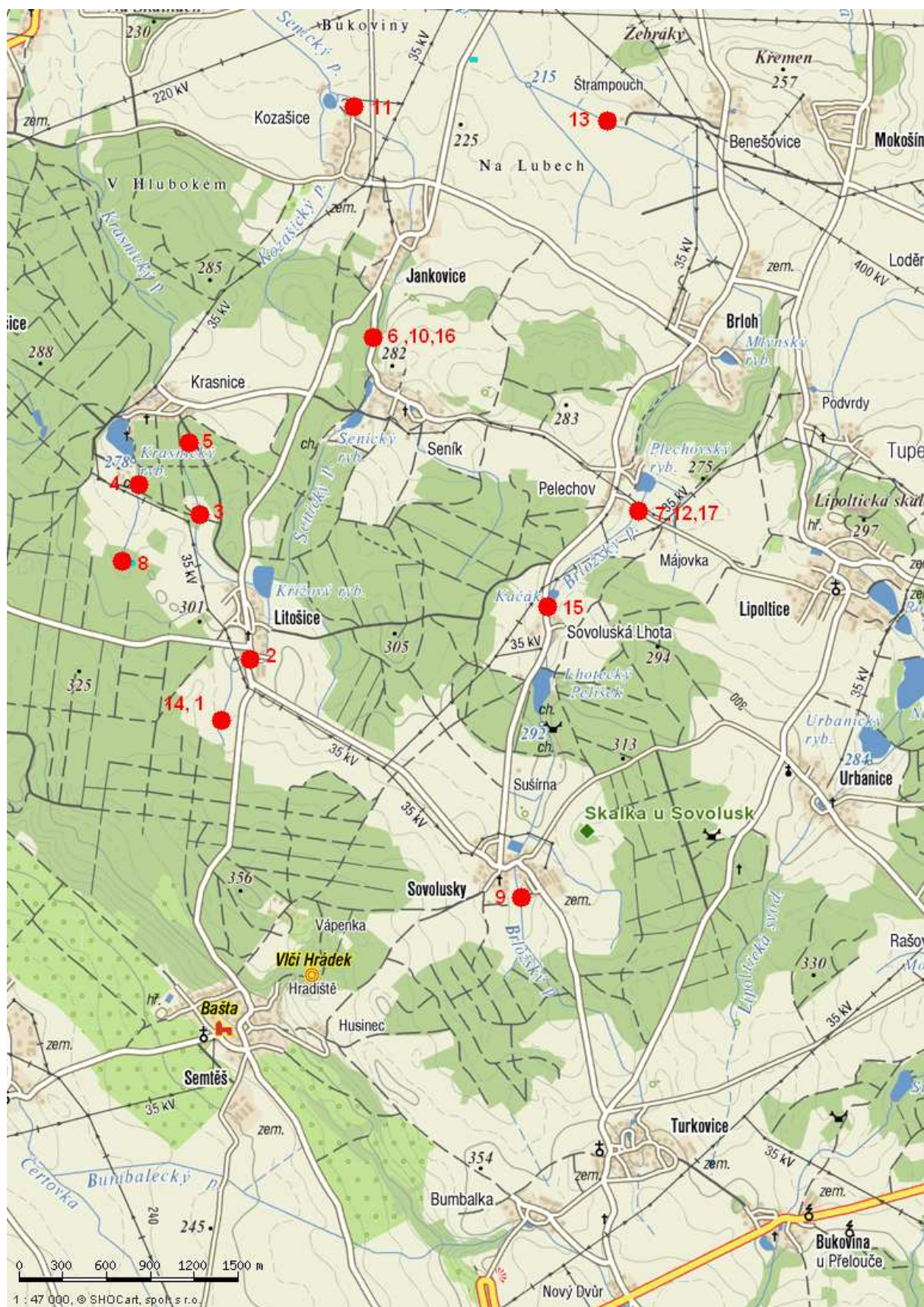
Tab. 0.13 Analýza vzorků povrchové vody - odběr 28.1.2011

č. vzorku	Datum odběru	Oblast	Místo odběru	As [mg/l]
10	28.1.2011	Seník	Senický potok	0,016
11	28.1.2011	Kozašice	Senický potok	<0,005
12	28.1.2011	Pelechov	Brložský potok	<0,005
13	28.1.2011	Štampouchy	Brložský potok	<0,005
14	28.1.2011	Litošice	Senický potok	<0,005
15	28.1.2011	Sovoluská lhota	Brložský potok	<0,005

Tab. 0.14 Analýza vzorků povrchové vody - odběr 4.2.2011

č. vzorku	Datum odběru	Oblast	Místo odběru	As [mg/l]
16	4.2.2011	Seník	Senický potok	<0,005
17	4.2.2011	Pelechov	Brložský potok	0,032

6. SITUACE ODBĚRŮ POVRCHOVÝCH VODY



7. ANALÝZA VZORKŮ DNOVÝCH SEDIMENTŮ

Tab. 0.15 Analýza vzorků dnových sedimentů - odběr 9.11.2011

č. vzorku	Datum odběru	Oblast	Místo odběru	As [mg/kg]
1	9.11.2011	Pelechov	Pelechovský rybník	8,8
2	9.11.2011	Brloh	Mlýnský rybník	10,5
3	9.11.2011	Jankovice	Brložský potok	9,1
4	9.11.2011	Spytovice	Krasnický potok	7,8
5	9.11.2011	Seník	Senický rybník	9
6	9.11.2011	Krasnice	Krasnický rybník	6,9
7	9.11.2011	Litošice	Křížový rybník	4,3
8	9.11.2011	Litošice	Senický potok	13,8
9	9.11.2011	Sovoluská lhota	Rybník Pelíšek	10,6

Tab. 0.16 Analýza vzorků dnových sedimentů - odběr 25.1.2011

č. vzorku	Datum odběru	Oblast	Místo odběru	As [mg/kg]
10	25.1.2011	Krasnice	Krasnický potok	3,2
11	25.1.2011	nad Spytovicemi	Krasnický potok	7,1
12	25.1.2011	Spytovice	Krasnický potok	4,8
13	25.1.2011	Litošice	Senický potok	7,4
14	25.1.2011	Seník	Senický potok	4,9
15	25.1.2011	Kozašice	Senický potok	4,5
16	25.1.2011	u Škudel	Senický potok	6,8
17	25.1.2011	Turkovice	Brložský potok	6,9
18	25.1.2011	Sovolusky	Brložský potok	2
19	25.1.2011	Pelechov	Brložský potok	6,8
20	25.1.2011	Brloh	Brložský potok	2,8
21	25.1.2011	pod Brlohem	Brložský potok	5,7
22	25.1.2011	u Šrampouchu	Brložský potok	6
23	25.1.2011	Lhota	Brložský potok	7,6
24	25.1.2011	Urbanice	Lipoltický potok	7
25	25.1.2011	Lipoltice	Lipoltický potok	4,4
26	25.1.2011	Tupesy	Lipoltický potok	8

8. SITUACE ODBĚRŮ DNOVÝCH SEDIMENTŮ



9. ANALÝZA VZORKŮ V HORNINÁCH

Tab. 0.17 Analýza vzorků hornin - odběr 27.10.2010

č. vzorku	Datum odběru	Oblast	As [mg/kg]
1	27.10.2010	Odval Litošice	42,1
2	27.10.2010	Odval Litošice	41,5
3	27.10.2010	Odval Litošice	39,4
4	27.10.2010	Odval Litošice	36,9
5	27.10.2011	Odval Litošice	348
6	27.10.2011	Odval Litošice	93

Tab. 0.18 Analýza vzorků hornin - odběr 8.3.2011

č. vzorku	Datum odběru	Oblast	As [mg/kg]
7	8.3.2011	Litošice	1350
8	8.3.2011	Semteš	284
9	8.3.2011	Litošice	182
10	8.3.2011	Litošice	127
11	8.3.2011	Litošice	114
12	8.3.2011	Litošice	184

10. SITUACE ODBĚRŮ Z HORNIN

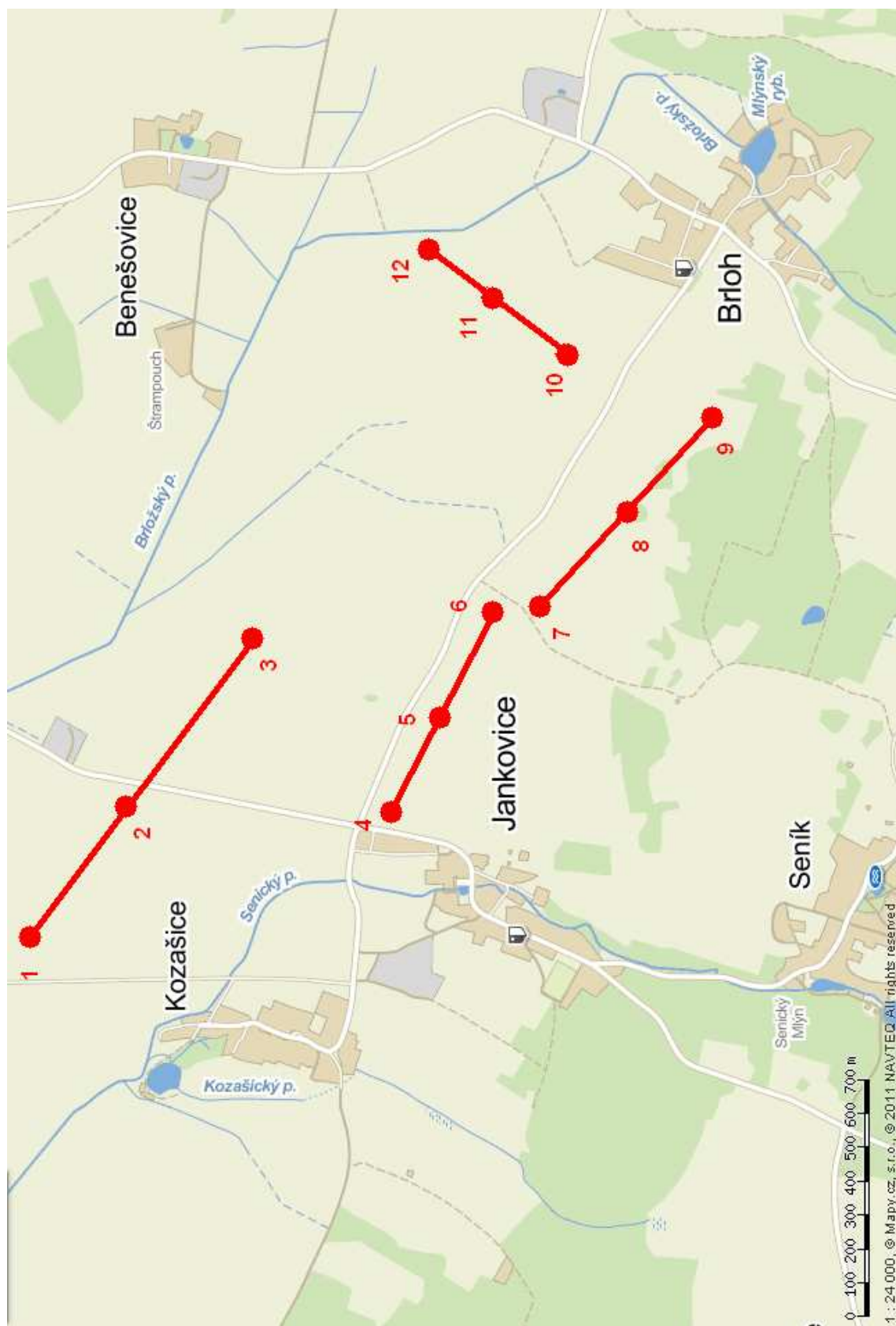


11. ANALÝZA VZORKŮ V ZEMINÁCH

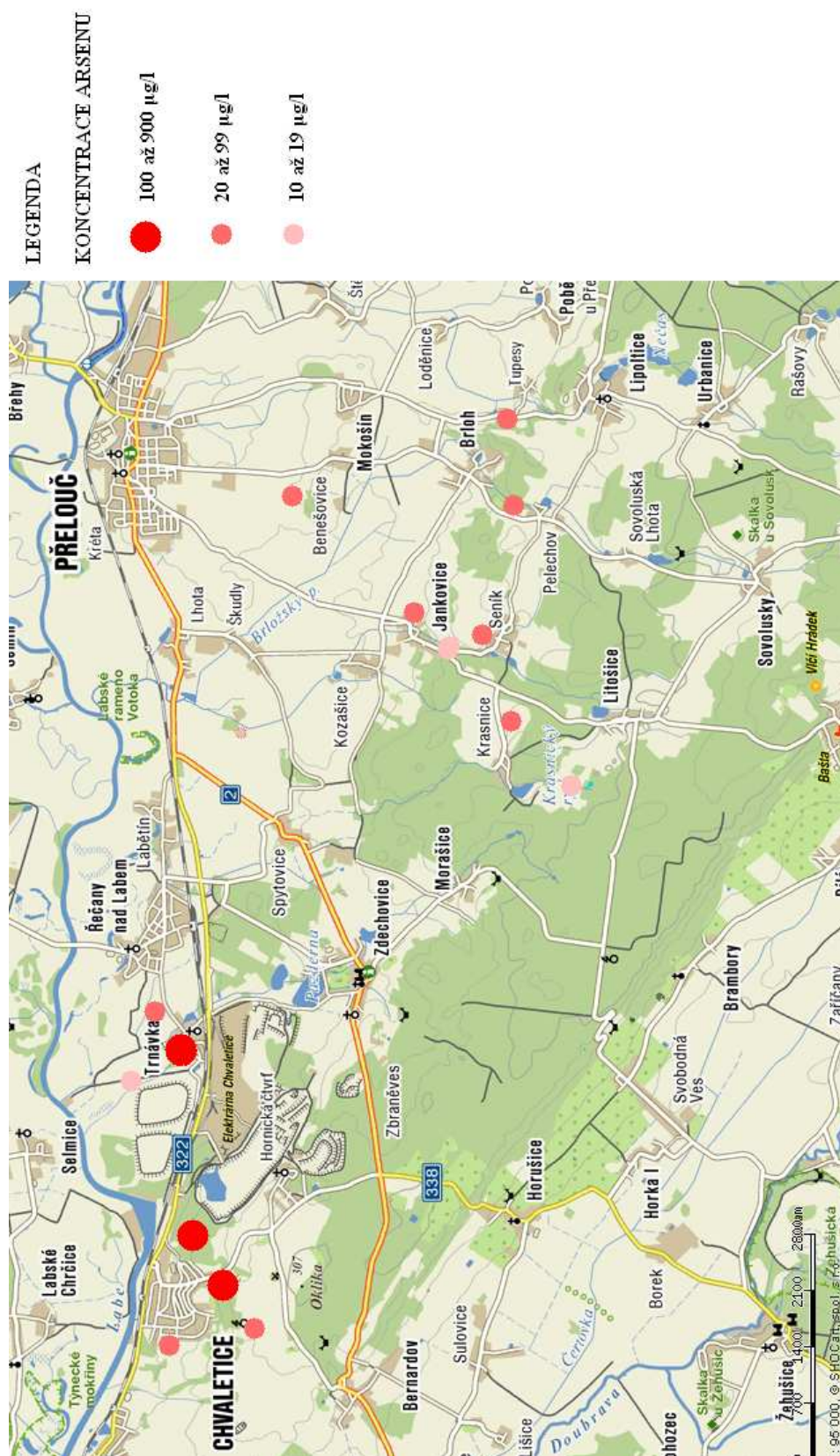
Tab. 0.19 Analýza vzorků zemin - odběr 8.3.2011

Č. vzorku	Datum odběru	Oblast	Místo odběru	As [mg/kg]
1	24.11.2010	Jankovice	Ornice	11,1
2	24.11.2010	Jankovice	Ornice	18,4
3	24.11.2010	Jankovice	Ornice	14
4	24.11.2010	Jankovice	Ornice	15,4
5	24.11.2010	Jankovice	Ornice	19,5
6	24.11.2010	Jankovice	Ornice	24
7	24.11.2010	Jankovice	Ornice	9,7
8	24.11.2010	Jankovice	Ornice	19,2
9	24.11.2010	Jankovice	Ornice	14,2
10	24.11.2010	Jankovice	Ornice	23,3
11	24.11.2010	Jankovice	Ornice	17,7
12	24.11.2010	Jankovice	Ornice	13,9

12. SITUACE ODBĚRŮ ZEMIN



13. SITUACE VÝSKYTU NEJVYŠŠÍ KONCENTRACE ARSENU



14. KONCENTRACE ŽELEZA VE ZDROJÍCH

Tab. 0.20 Koncentrace Fe ve zdrojích za rok 2006

Datum odběru	V-3 + Ja-6	Datum odběru	CH-5 + CH-4a
	Fe [mg/l]		Fe [mg/l]
2.1.2006	1,84	2.1.2006	0,69
30.1.2006	1,92	30.1.2006	0,66
20.2.2006	2,2	20.2.2006	0,25
13.3.2006	1,56	13.3.2006	0,68
28.3.2006	1,22	28.3.2006	0,71
10.4.2006	1,6	10.4.2006	0,58
2.5.2006	1,2	2.5.2006	0,75
18.7.2006	1,61	17.7.2006	0,68
14.8.2006	1,9	14.8.2006	0,72
29.8.2006	1,16	29.8.2006	0,77
11.9.2006	2,15	11.9.2006	0,7
2.10.2006	2,38	2.10.2006	0,69
30.10.2006	2,14	30.10.2006	0,73
13.11.2006	1,5	13.11.2006	0,72
18.12.2006	1,08	18.12.2006	0,71

Tab. 0.21 Koncentrace Fe ve zdrojích za rok 2007

Datum odběru	V-3 + Ja-6	Datum odběru	CH-5 + CH-4a
	Fe [mg/l]		Fe [mg/l]
15.1.2007	0,86	15.1.2007	0,66
29.1.2007	0,96	29.1.2007	0,66
19.2.2007	0,66	19.2.2007	0,69
27.2.2007	0,42	27.2.2007	0,65
12.3.2007	1,26	12.3.2007	0,69
27.3.2007	1	27.3.2007	0,69
16.4.2007	1,52	16.4.2007	0,73
4.6.2007	0,95	4.6.2007	0,65
26.6.2007	1,19	26.6.2007	0,79
16.7.2007	1,57	-	-
31.7.2007	1,08	31.7.2007	0,72
13.8.2007	1,56	13.8.2007	0,63
28.8.2007	1,4	28.8.2007	0,74
10.9.2007	1,54	10.9.2007	0,62
25.9.2007	1,43	25.9.2007	0,68
15.10.2007	1,16	15.10.2007	0,71
12.11.2007	1,26	12.11.2007	0,64
26.11.2007	1,06	26.11.2007	0,65
10.12.2007	1,29	10.12.2007	0,66

Tab. 0.22 Koncentrace Fe ve zdrojích za rok 2008

Datum odběru	V-3 + Ja-6	Datum odběru	CH-5 + CH-4a
	Fe [mg/l]		Fe [mg/l]
7.1.2008	1,4	7.1.2008	0,57
28.1.2008	1,55	28.1.2008	0,74
11.2.2008	1,8	11.2.2008	0,7
3.3.2008	0,51	25.2.2008	0,89
21.4.2008	1,56	3.3.2008	0,63
19.5.2008	1,28	21.4.2008	0,74
9.6.2008	1,62	19.5.2008	0,68
24.6.2008	1,33	9.6.2008	0,71
22.7.2008	1,58	24.6.2008	0,7
18.8.2008	1,94	14.7.2008	0,67
25.8.2008	1,24	22.7.2008	0,75
8.9.2008	1,27	18.8.2008	0,75
23.9.2008	1,15	25.8.2008	0,66
10.11.2008	1,52	8.9.2008	0,69
8.12.2008	1,38	23.9.2008	0,73
-	-	10.11.2008	0,65
-	-	8.12.2008	0,61

Tab. 0.23 Koncentrace Fe ve zdrojích za rok 2009

Datum odběru	V-3 + Ja-6	Datum odběru	CH-5 + CH-4a
	Fe [mg/l]		Fe [mg/l]
6.1.2009	0,98	6.1.2009	0,65
26.1.2009	1,12	26.1.2009	0,67
2.2.2009	1,42	2.2.2009	0,65
23.3.2009	0,33	23.2.2009	0,7
27.4.2009	1,09	2.3.2009	0,71
11.5.2009	1,36	23.3.2009	0,77
8.6.2009	1,17	27.4.2009	0,68
20.7.2009	1,46	11.5.2009	0,66
3.8.2009	0,37	8.6.2009	0,81
25.8.2009	1,29	20.7.2009	0,65
7.9.2009	1	3.8.2009	0,63
12.10.2009	1,54	25.8.2009	0,74
23.11.2009	1,53	12.10.2009	0,83
1.12.2009	1,08	23.11.2009	0,65

Tab. 0.24 Koncentrace Fe ve zdrojích za rok 2010

Datum odběru	V-3 + Ja-6	Datum odběru	CH-5 + CH-4a
	Fe [mg/l]		Fe [mg/l]
1.2.2010	0,96	1.2.2010	0,67
23.2.2010	0,78	23.2.2010	0,86
8.3.2010	0,28	8.3.2010	0,68
23.3.2010	1,13	23.3.2010	0,73
12.4.2010	1,23	12.4.2010	0,67
3.5.2010	1,38	3.5.2010	0,63
7.6.2010	1,57	29.6.2010	0,69
29.6.2010	0,8	-	-
19.7.2010	1,61	19.7.2010	0,65
9.8.2010	1,45	9.8.2010	0,67
4.10.2010	1,51	4.10.2010	0,68
25.10.2010	1,44	25.10.2010	0,68
9.11.2010	0,99	9.11.2010	0,72
15.11.2010	1,26	15.11.2010	0,33
13.12.2010	1,18	13.12.2010	0,39

15. KONCENTRACE ŽELEZA NA ÚV MOKOŠÍN

Tab. 0.25 Koncentrace Fe na ÚV Mokošín za rok 2006

Datum odběru	Surová voda v RN	Datum odběru	Upravená voda
	Fe [mg/l]		Fe [mg/l]
Leden	1,28	2.1.2006	0,06
Únor	1,23	30.1.2006	0,06
Březen	1,04	20.2.2006	0,02
Duben	1,09	28.2.2006	0,04
Květen	0,98	13.3.2006	0,05
Červen	0,61	28.3.2006	0,04
Červenec	1,15	10.4.2006	0,05
Srpen	1,14	2.5.2006	0,05
Září	1,43	12.6.2006	0,05
Říjen	1,49	17.7.2006	0,05
Listopad	1,11	14.8.2006	0,03
Prosinec	0,9	29.8.2006	0,04
-	-	11.9.2006	0,05
-	-	2.10.2006	0,02
-	-	30.10.2006	0,05
-	-	13.11.2006	0,04
-	-	28.11.2006	0,04
-	-	18.12.2006	0,03

Tab. 0.26 Koncentrace Fe na ÚV Mokošín za rok 2007

Datum odběru	Surová voda v RN	Datum odběru	Upravená voda
	Fe [mg/l]		Fe [mg/l]
Leden	0,79	15.1.2007	0,01
Únor	0,61	29.1.2007	0,07
Březen	0,91	19.2.2007	0,04
Duben	1,13	27.2.2007	0,02
Květen	0,95	12.3.2007	0,03
Červen	0,9	27.3.2007	0,04
Červenec	1,12	16.4.2007	0,03
Srpen	1,08	2.5.2007	0,05
Září	1,07	4.6.2007	0,04
Říjen	0,94	26.6.2007	0,06
Listopad	0,9	16.7.2007	0,04
Prosinec	0,98	31.7.2007	0,08
-	-	13.8.2007	0,04
-	-	28.8.2007	0,02
-	-	10.9.2007	0,03

-	-	25.9.2007	0,03
-	-	15.10.2007	0,05
-	-	29.10.2007	0,04
-	-	12.11.2007	0,03
-	-	26.11.2007	0,04
-	-	10.12.2007	0,02

Tab. 0.27 Koncentrace Fe na ÚV Mokošín za rok 2008

Datum odběru	Surová voda v RN	Datum odběru	Upravená voda
	Fe [mg/l]		Fe [mg/l]
Leden	1,07	7.1.2008	0,04
Únor	1,13	28.1.2008	0,04
Březen	0,57	11.2.2008	0,06
Duben	1,15	25.2.2008	0,04
Květen	0,98	3.3.2008	0,03
Červen	1,09	25.3.2008	0,04
Červenec	1	21.4.2008	0,01
Srpen	1,15	19.5.2008	0,04
Září	0,96	9.6.2008	0,03
Říjen	0,95	24.6.2008	0,01
Listopad	0,65	14.7.2008	0,03
Prosinec	0,61	22.7.2008	0,03
-	-	18.8.2008	0,03
-	-	25.8.2008	0,03
-	-	8.9.2008	0,04
-	-	23.9.2008	0,09
-	-	13.10.2008	0,04
-	-	10.11.2008	0,01
-	-	8.12.2008	0,02

Tab. 0.28 Koncentrace Fe na ÚV Mokošín za rok 2009

Datum odběru	Surová voda v RN	Datum odběru	Upravená voda
	Fe [mg/l]		Fe [mg/l]
Leden	0,66	6.1.2009	0,01
Únor	0,68	26.1.2009	0,01
Březen	0,6	2.2.2009	0,01
Duben	0,89	23.2.2009	0,02
Květen	1,01	2.3.2009	0,01
Červen	1,37	23.3.2009	0,01
Červenec	1,06	27.4.2009	0,02

Srpen	0,76	11.5.2009	0,04
Září	1	8.6.2009	0,04
Říjen	1,45	23.6.2009	0,04
Listopad	1,09	20.7.2009	0,02
Prosinec	0,92	3.8.2009	0,03
-	-	25.8.2009	0,01
-	-	12.10.2009	0,03
-	-	26.10.2009	0,04
-	-	23.11.2009	0,01
-	-	1.12.2009	0,01

Tab. 0.29 Koncentrace Fe na ÚV Mokošín za rok 2010

Datum odběru	Surová voda v RN	Datum odběru	Upravená voda
	Fe [mg/l]		Fe [mg/l]
Leden	0,8	1.2.2010	0,03
Únor	0,82	23.2.2010	0,03
Březen	0,71	8.3.2010	0,05
Duben	0,95	23.3.2010	0,04
Květen	1,01	12.4.2010	0,03
Červen	1,36	3.5.2010	0,03
Červenec	1,13	7.6.2010	0,06
Srpen	1,06	29.6.2010	0,08
Září	1,02	19.7.2010	0,04
Říjen	1,08	9.8.2010	0,02
Listopad	0,83	4.10.2010	0,11
Prosinec	0,79	25.10.2010	0,03
-	-	9.11.2010	0,04
-	-	15.11.2010	0,04
-	-	30.11.2010	0,04
-	-	13.12.2010	0,03

16. KONCENTRACE MANGANU VE ZDROJÍCH

Tab. 0.30 Koncentrace Mn ve zdrojích za rok 2006

Datum odběru	V-3 + Ja-6	Datum odběru	CH-5 + CH-4a
	Mn [mg/l]		Mn [mg/l]
2.1.2006	0,22	2.1.2006	0,01
30.1.2006	0,24	30.1.2006	0,01
20.2.2006	0,23	20.2.2006	0,01
13.3.2006	0,19	13.3.2006	0,02
28.3.2006	0,23	28.3.2006	0,01
10.4.2006	0,2	10.4.2006	0,01
2.5.2006	0,21	2.5.2006	0,01
18.7.2006	0,26	17.7.2006	0,01
14.8.2006	0,26	14.8.2006	0,01
29.8.2006	0,24	29.8.2006	0,01
11.9.2006	0,24	11.9.2006	0,01
2.10.2006	0,28	2.10.2006	0,01
30.10.2006	0,26	30.10.2006	0,01
13.11.2006	0,3	13.11.2006	0,01
18.12.2006	0,24	18.12.2006	0,01

Tab. 0.31 Koncentrace Mn ve zdrojích za rok 2007

Datum odběru	V-3 + Ja-6	Datum odběru	CH-5 + CH-4a
	Mn [mg/l]		Mn [mg/l]
15.1.2007	0,12	-	-
29.1.2007	0,11	15.1.2007	0,01
19.2.2007	0,12	29.1.2007	0,01
27.2.2007	0,13	19.2.2007	0,01
12.3.2007	0,14	27.2.2007	0,01
27.3.2007	0,13	12.3.2007	0,01
16.4.2007	0,16	27.3.2007	0,01
4.6.2007	0,21	16.4.2007	0,01
26.6.2007	0,19	4.6.2007	0,01
16.7.2007	0,14	26.6.2007	0,01
31.7.2007	0,07	31.7.2007	0,01
13.8.2007	0,25	13.8.2007	0,01
28.8.2007	0,13	28.8.2007	0,01
10.9.2007	0,14	10.9.2007	0,01
25.9.2007	0,17	25.9.2007	0,01
15.10.2007	0,2	15.10.2007	0,01
12.11.2007	0,18	12.11.2007	0,01
26.11.2007	0,17	26.11.2007	0,01
10.12.2007	0,25	10.12.2007	0,01

Tab. 0.32 Koncentrace Mn ve zdrojích za rok 2008

Datum odběru	V-3 + Ja-6	Datum odběru	CH-5 + CH-4a
	Mn [mg/l]		Mn [mg/l]
7.1.2008	0,19	7.1.2008	0,01
28.1.2008	0,2	28.1.2008	0,01
11.2.2008	0,21	11.2.2008	0,01
3.3.2008	0,19	25.2.2008	0,01
21.4.2008	0,25	3.3.2008	0,01
19.5.2008	0,11	21.4.2008	0,02
9.6.2008	0,17	19.5.2008	0,01
24.6.2008	0,2	9.6.2008	0,01
22.7.2008	0,19	24.6.2008	0,01
18.8.2008	0,22	14.7.2008	0,01
25.8.2008	0,16	22.7.2008	0,01
8.9.2008	0,2	18.8.2008	0,01
23.9.2008	0,19	25.8.2008	0,01
10.11.2008	0,18	8.9.2008	0,01
8.12.2008	0,17	23.9.2008	0,01
-	-	10.11.2008	0,01
-	-	8.12.2008	0,01

Tab. 0.33 Koncentrace Mn ve zdrojích za rok 2009

Datum odběru	V-3 + Ja-6	Datum odběru	CH-5 + CH-4a
	Mn [mg/l]		Mn [mg/l]
6.1.2009	0,14	6.1.2009	0,01
26.1.2009	0,18	26.1.2009	0,01
2.2.2009	0,2	2.2.2009	0,01
23.3.2009	0,22	23.2.2009	0,01
27.4.2009	0,23	2.3.2009	0,01
11.5.2009	0,19	23.3.2009	0,01
8.6.2009	0,23	27.4.2009	0,01
20.7.2009	0,2	11.5.2009	0,01
3.8.2009	0,21	8.6.2009	0,01
25.8.2009	0,19	20.7.2009	0,01
7.9.2009	0,17	3.8.2009	0,01
12.10.2009	0,21	25.8.2009	0,01
23.11.2009	0,19	12.10.2009	0,01
1.12.2009	0,18	23.11.2009	0,01

Tab. 0.34 Koncentrace Mn ve zdrojích za rok 2010

Datum odběru	V-3 + Ja-6	Datum odběru	CH-5 + CH-4a
	Mn [mg/l]		Mn [mg/l]
1.2.2010	0,18	1.2.2010	0,01
23.2.2010	0,15	23.2.2010	0,01
8.3.2010	0,17	8.3.2010	0,01
23.3.2010	0,17	23.3.2010	0,01
12.4.2010	0,15	12.4.2010	0,01
3.5.2010	0,18	3.5.2010	0,01
7.6.2010	0,18	29.6.2010	0,01
29.6.2010	0,18	-	
19.7.2010	0,2	19.7.2010	0,01
9.8.2010	0,16	9.8.2010	0,01
4.10.2010	0,16	4.10.2010	0,01
25.10.2010	0,16	25.10.2010	0,01
9.11.2010	0,21	9.11.2010	0,01
15.11.2010	0,19	15.11.2010	0,01
13.12.2010	0,24	13.12.2010	0,01

17. KONCENTRACE MANGANU NA ÚV MOKOŠÍN

Tab. 0.35 Koncentrace Mn na ÚV Mokošín za rok 2006

Datum odběru	Surová voda v RN	Datum odběru	Upravená voda
	Mn [mg/l]		Mn [mg/l]
Leden	0,12	2.1.2006	0,01
Únor	0,12	30.1.2006	0,01
Březen	0,11	20.2.2006	0,01
Duben	0,11	28.2.2006	0,01
Květen	0,11	13.3.2006	0,01
Červen	0,1	28.3.2006	0,01
Červenec	0,14	10.4.2006	0,02
Srpen	0,13	2.5.2006	0,01
Září	0,13	12.6.2006	0,01
Říjen	0,14	17.7.2006	0,02
Listopad	0,16	14.8.2006	0,02
Prosinec	0,13	29.8.2006	0,02
-	-	11.9.2006	0,02
-	-	2.10.2006	0,02
-	-	30.10.2006	0,01
-	-	13.11.2006	0,04
-	-	28.11.2006	0,01
-	-	18.12.2006	0,01

Tab. 0.36 Koncentrace Mn na ÚV Mokošín za rok 2007

Datum odběru	Surová voda v RN	Datum odběru	Upravená voda
	Mn [mg/l]		Mn [mg/l]
Leden	0,06	15.1.2007	0,01
Únor	0,07	29.1.2007	0,02
Březen	0,07	19.2.2007	0,01
Duben	0,09	27.2.2007	0,01
Květen	0,09	12.3.2007	0,01
Červen	0,11	27.3.2007	0,01
Červenec	0,07	16.4.2007	0,04
Srpen	0,1	2.5.2007	0,01
Září	0,08	4.6.2007	0,01
Říjen	0,11	26.6.2007	0,01
Listopad	0,09	16.7.2007	0,01
Prosinec	0,13	31.7.2007	0,01
-	-	13.8.2007	0,01
-	-	28.8.2007	0,01
-	-	10.9.2007	0,01

-	-	25.9.2007	0,01
-	-	15.10.2007	0,01
-	-	29.10.2007	0,01
-	-	12.11.2007	0,01
-	-	26.11.2007	0,01
-	-	10.12.2007	0,01

Tab. 0.37 Koncentrace Mn na ÚV Mokošín za rok 2008

Datum odběru	Surová voda v RN	Datum odběru	Upravená voda
	Mn [mg/l]		Mn [mg/l]
Leden	0,1	7.1.2008	0,01
Únor	0,08	28.1.2008	0,01
Březen	0,1	11.2.2008	0,01
Duben	0,14	25.2.2008	0,01
Květen	0,06	3.3.2008	0,01
Červen	0,1	25.3.2008	0,01
Červenec	0,07	21.4.2008	0,01
Srpen	0,1	19.5.2008	0,01
Září	0,1	9.6.2008	0,01
Říjen	0,1	24.6.2008	0,01
Listopad	0,01	14.7.2008	0,01
Prosinec	0,01	22.7.2008	0,01
-	-	18.8.2008	0,01
-	-	25.8.2008	0,01
-	-	8.9.2008	0,01
-	-	23.9.2008	0,01
-	-	13.10.2008	0,01
-	-	10.11.2008	0,01
-	-	8.12.2008	0,01

Tab. 0.38 Koncentrace Mn na ÚV Mokošín za rok 2009

Datum odběru	Surová voda v RN	Datum odběru	Upravená voda
	Mn [mg/l]		Mn [mg/l]
Leden	0,01	6.1.2009	0,01
Únor	0,01	26.1.2009	0,01
Březen	0,05	2.2.2009	0,01
Duben	0,1	23.2.2009	0,01
Květen	0,11	2.3.2009	0,01
Červen	0,13	23.3.2009	0,04

Červenec	0,12	27.4.2009	0,01
Srpen	0,11	11.5.2009	0,01
Září	0,2	8.6.2009	0,01
Říjen	0,17	23.6.2009	0,01
Listopad	0,1	20.7.2009	0,01
Prosinec	0,09	3.8.2009	0,01
-	-	25.8.2009	0,01
-	-	12.10.2009	0,01
-	-	26.10.2009	0,04
-	-	23.11.2009	0,01
-	-	1.12.2009	0,01

Tab. 0.39 Koncentrace Mn na ÚV Mokošín za rok 2010

Datum odběru	Surová voda v RN	Datum odběru	Upravená voda
	Mn [mg/l]		Mn [mg/l]
Leden	0,09	1.2.2010	0,01
Únor	0,09	23.2.2010	0,01
Březen	0,09	8.3.2010	0,01
Duben	0,08	23.3.2010	0,03
Květen	0,1	12.4.2010	0,03
Červen	0,14	3.5.2010	0,03
Červenec	0,11	7.6.2010	0,01
Srpen	0,09	29.6.2010	0,01
Září	0,09	19.7.2010	0,01
Říjen	0,09	9.8.2010	0,01
Listopad	0,11	4.10.2010	0,01
Prosinec	0,13	25.10.2010	0,01
-	-	9.11.2010	0,01
-	-	15.11.2010	0,01
-	-	30.11.2010	0,01
-	-	13.12.2010	0,01